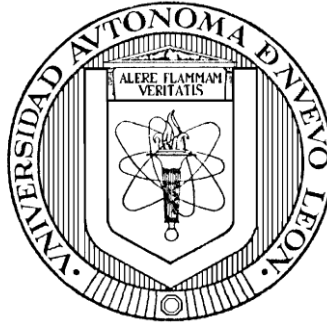


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA



TESIS

RELACIÓN DE VARIABILIDAD DE FRECUENCIA CARDIACA CON CARGA
INTERNA Y EXTERNA EN ENTRENAMIENTO DE HOCKEY.
ANÁLISIS DE RESPUESTAS AUTÓNOMAS AGUDAS POST EJERCICIO

PRESENTA:

ROBERTO ANDRÉS GONZÁLEZ FIMBRES

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA CULTURA FÍSICA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.

JUNIO, 2018

Dr. Germán Hernández Cruz, como Director de tesis interno de la Facultad de Organización Deportiva, acredita que el trabajo de tesis doctoral del **M.A. Roberto Andrés González Fimbres**, titulado **"Relación de variabilidad de frecuencia cardiaca con carga interna y externa en entrenamiento de hockey. Análisis de respuestas autónomas agudas post ejercicio"** se ha revisado y concluido satisfactoriamente, bajo los estatutos y lineamientos marcados en la guía de la escritura de tesis de doctorado, propuesta por el comité doctoral de nuestra facultad, recomendando dicha tesis para su defensa con opción al grado de **Doctor en Ciencias de la Cultura Física**.



Dr. Germán Hernández Cruz
DIRECTOR DE TESIS

Dra. Blanca Rocio Rangel Colmenero
Subdirectora del Área de Posgrado

"Relación de variabilidad de frecuencia cardíaca con carga interna y externa en
entrenamiento de hockey. Análisis de respuestas autónomas agudas post ejercicio"

Presentado por:

M.A. Roberto Andrés González Fimbres

El presente trabajo fue realizado en la Facultad de Organización Deportiva de la
Universidad Autónoma de Nuevo León y en Nombre de la institución adjunta, bajo la
dirección del Dr. Germán Hernández Cruz, como requisito para optar al grado de
Doctor en Ciencias de la Cultura Física, programa en conjunto con la Facultad de
Ciencias de la Cultura Física de la Universidad Autónoma de Chihuahua.



Dr. Germán Hernández Cruz
DIRECTOR



Dra. Blanca Rocio Rangel Colmenero
Subdirectora del Área de Posgrado

San Nicolás de los Garza, N.L.

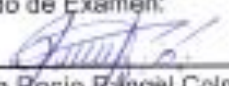
Junio, 2018

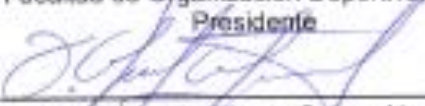
**"Relación de variabilidad de frecuencia cardíaca con carga interna y externa en
entrenamiento de hockey. Análisis de respuestas autónomas agudas post ejercicio"**

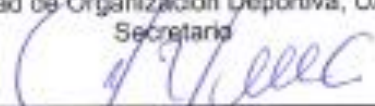
Presentado por:


M.A. Roberto Andrés González Fimbres

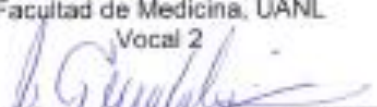
Aprobación de la Tesis por el Jurado de Examen:




Dra. Blanca Rocio Rangel Colmenero
Facultad de Organización Deportiva, UANL
Presidente

Dr. Fernando Alberto Ochoa Ahmed
Facultad de Organización Deportiva, UANL
Secretaria

Dr. Erasmo Maldonado Maldonado
Facultad de Organización Deportiva, UANL
Vocal 1

Dr. Amulfo Vikanueva Olivo
Facultad de Medicina, UANL
Vocal 2

Dra. Jeanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Facultad de Agronomía, UANL
Vocal 3

Dra. Blanca Rocio Rangel Colmenero
Subdirectora del Área de Posgrado

San Nicolás de los Garza, N.L.

Junio, 2018

DEDICATORIA

El realizar un estudio doctoral fue mi deseo por muchos años. Cursarlo es un proceso que he disfrutado de inicio a fin y me ha dejado grandes enseñanzas a todos niveles. Este documento representa la culminación de un proceso que ha afectado de una manera u otra a las personas en mi vida. A ellas les dedico este trabajo de investigación.

Primeramente se lo dedico a mis padres, Roberto González Ascencio y Martha Fimbres Frisby. Siempre he pensado que el ejemplo de mis padres ha definido mi forma de ser, siendo yo una perfecta amalgama de la personalidad de ambos. He recibido su apoyo incondicional en todos los proyectos que he emprendido a lo largo de mi vida, la mayoría del tiempo han sido poco ortodoxos y estoy seguro que para otros padres hubieran sido difíciles de entender y aceptar, gracias.

A mi hija Andrea Asereth González Aguirre ya que sin saberlo, o aprobarlo, sacrificó una gran parte del tiempo de dedicación y atención de su padre en aras de que yo terminara mi proyecto. Hiciste la tesis conmigo, espero que el tiempo y esfuerzo dedicado haya valido la pena y se vea reflejado de manera positiva en tu vida, ya que desde que naciste todo lo que hago tiene sentido por ti.

A mi pareja Claudia Selene Cuevas Castro, quien también hizo tesis conmigo, me acompañaste en cada paso, igualando o superando mi nivel de preocupación, angustia, alegría y alivio. Sé que el proceso a veces fue difícil, pero siempre me apoyaste física y moralmente de manera incondicional, te amo.

A mis hermanos Martha Lizeth, Pedro Iván y Ana Carolina, porque estoy convencido que cualquier percepción de logro que este proceso me traiga, ustedes lo sienten tan suyo como mío.

Al programa de Licenciatura en Entrenamiento Deportivo de la Universidad Estatal de Sonora que profesionalmente es mi razón de ser. De no trabajar aquí, estudiar un doctorado no tuviera ningún sentido. Obtener este grado conlleva un sentimiento de responsabilidad de retribuir a mi institución, espero que se vea reflejado en un aporte significativo de mi parte para el desarrollo del programa.

AGRADECIMIENTOS

Redactar una tesis doctoral nunca es un esfuerzo de una sola persona, es la combinación de la participación de muchas, quisiera reconocer y agradecer a todos los que aportaron a su realización, incluso a las que no se mencionan en este texto.

Debo agradecer primeramente a mi director de tesis, el Dr. Germán Hernández Cruz, quien me ofreció su apoyo desde antes de comenzar con este proyecto y ha permanecido constante hasta el final. Sin menospreciar a los demás profesores de núcleo básico del programa de Doctorado en Ciencias de la Cultura Física, he tenido al mejor director de tesis posible para mí. Es un placer trabajar con una persona que comparte tu filosofía. Gracias por su generosidad, paciencia, integridad y guía. Usted ha sido la persona que más ha impactado mi proceso de aprendizaje. Tiene mi admiración y respeto, espero seguir su ejemplo de trabajo.

En segundo lugar tengo que agradecer y reconocer a la Maestra María Grethel Ramírez Siqueiros, quien en su momento desde su posición como Coordinadora de Investigación y Posgrado de la UES hizo las gestiones para que todos los profesores de nuestra generación pudiéramos tener acceso a este programa “especial”. Los integrantes de esta generación siempre tendremos una deuda de gratitud contigo.

Igualmente gracias al Dr. Oswaldo Ceballos Gurrola, en su momento Director de la Facultad de Organización Deportiva y a la Dra. Jeanette López Walle, en su momento Subdirectora del área de posgrado, quienes accedieron a recibirnos, creyeron en nosotros y nos acogieron bajo las alas del Doctorado en Ciencias de la Cultura Física, su visión, iniciativa, arrojo y entusiasmo hizo que este programa fuera posible.

Le agradezco a mi comité tutorial de tesis. Dra. Blanca Rangel Colmenero, sus altas expectativas con respecto a nuestros trabajos me hicieron esforzarme al límite de mi capacidad durante todo el proceso, de verdad muchas gracias. Al Dr. Fernando Ochoa, quién me obligó a expandir los límites mentales y aprender aspectos invaluable del entrenamiento deportivo que, sin su asesoría, nunca hubiera accedido, mil gracias. Mi agradecimiento al Dr. Armando Cocca, quien siempre con una actitud alegre nos obligó a tener una preparación con calidad, enseñándonos generosamente todos los recovecos de esta difícil actividad que es la investigación. Muchas gracias Armando, espero poder contar con tu amistad y colaboración por mucho tiempo más. Gracias Dr. Erasmo Maldonado Maldonado, sus observaciones y recomendaciones han permitido que mi documento de tesis sea un mejor producto, gracias por dedicarle su valioso tiempo a mi trabajo.

Quiero agradecer al Dr. José Naranjo Orellana, quién compartió con nosotros su expertís, convirtiendo un tema complejo como es el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en algo sencillo y asequible. Su asesoría ha sido invaluable en mi formación doctoral, muchas gracias.

Esta investigación no se hubiera llevado a cabo sin el apoyo del Mtro. Rodolfo Ríos Domínguez, Coordinador del área técnica de CODESON, quien nos abrió la puerta para ingresar a esta prestigiosa institución y tener acceso a los atletas que integraron la muestra de este estudio, muchas gracias Rodolfo.

Mi más grande agradecimiento y admiración a las entrenadoras Edith Ramírez y Silvia Solís del equipo de Hockey sobre pasto de CODESON. Gracias por dejarnos entrar en su círculo e integrarnos como parte del equipo, gracias por su confianza y apertura para poder llevar a cabo nuestras actividades a pesar del riesgo de interferir en un proceso de preparación rumbo a una Olimpiada juvenil. También a los jugadores que participaron voluntariamente en este estudio, Matías, Omar, Julián, Osmar, Joel, David, Denis, Daniel, Ángel, Jayson y Brayan, muchas gracias por su paciencia, ¡Felicidades a Ustedes y sus entrenadoras por su campeonato nacional!, nos emocionó como si hubiéramos estado ahí.

Un agradecimiento al alumno de LED Alexis Rendón Beltrán, quien se integró al proyecto para hacer sus prácticas profesionales y después se convirtió en parte integral del proceso, gracias Alexis por tu invaluable ayuda.

Finalmente debo agradecer al Mtro. Felipe Márquez Zaragoza, quién también me ha apoyado en este y otros proyectos desde que nos conocemos. Esta tesis no tuvo el final que nosotros habíamos anticipado, pero tu ayuda incondicional desde el principio y durante todo el proceso no pasa desapercibida, gracias Felipe.

Resumen

Objetivo: Analizar la relación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) post ejercicio con la carga externa (CE) e interna (CI) en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto. **Métodos:** Durante 12 semanas, 11 jugadores de un equipo juvenil varonil (14.41 ± 0.51 años) de hockey sobre pasto fueron evaluados en su CE utilizando acelerómetros triaxiales (Actigraph) y posteriormente se contrastó con la CI, calculada utilizando monitores (Polar Team2) de frecuencia cardiaca (FC) por medio de cuatro diferentes métodos de TRIMP: Banister (bTRIMP), Edwards (eTRIMP), Individualizado (iTRIMP) y Modificado (mTRIMP). También se analizó la VFC post ejercicio utilizando monitores de FC (Polar H7). Consecuentemente la CI y sus componentes se contrastaron con valores de VFC post ejercicio a los 5 minutos (Post5) y 10 minutos (Post10) relativos a los valores previos al ejercicio. **Resultados:** Se encontró relación entre valores de FC en lat/min y CE ($r = .699$, $R^2 = 0.489$, $p < .01$). Se observaron altos coeficientes de correlación entre los cuatro métodos de TRIMP ($r = .808 - .984$, $p < .01$). Sin embargo, no hubo concordancia entre los valores de CI arrojados por los cuatro métodos ($p < .01$). La CE tuvo correlación con los métodos de bTRIMP ($r = .509$, $R^2 = .259$, $p < .01$), mTRIMP ($r = .516$, $R^2 = .267$, $p < .01$), eTRIMP ($r = .336$, $R^2 = .113$, $p < .01$) e iTRIMP ($r = .224$, $R^2 = .050$, $p < .01$). Se encontró correlación entre la reducción de la VFC en Post5 y la intensidad del entrenamiento (RMSSD $r = -.399$, $p < .01$; SS $r = .363$, $p < .01$; S/PS $r = .395$, $p < .01$) y con los minutos transcurridos por debajo del primer umbral de lactato (UL) (RMSSD $r = .241$, $p < .01$; SS $r = -.221$, $p < .01$; S/PS $r = -.178$, $p < .01$) y por encima del segundo UL (RMSSD $r = -.192$, $p < .01$; SS $r = .177$, $p < .01$; S/PS $r = .242$, $p < .01$), así como con los valores de bTRIMP (RMSSD $r = -.348$, $p < .01$; SS $r = .344$, $p < .01$; S/PS $r = .444$, $p < .01$), eTRIMP (RMSSD $r = -.372$, $p < .01$; SS $r = .359$, $p < .01$; S/PS $r = .434$, $p < .01$), iTRIMP (RMSSD $r = -.332$, $p < .01$; SS $r = .328$, $p < .01$; S/PS $r = .377$, $p < .01$) y mTRIMP (RMSSD $r = -.350$, $p < .01$; SS $r = .336$, $p < .01$; S/PS $r = .429$, $p < .01$). No se encontró relación entre los parámetros de carga de entrenamiento y la recuperación de la VFC. **Conclusiones:** Los métodos de TRIMP son adecuados para evaluar CI en deportes intermitentes. El TRIMP individualizado representa mejor las respuestas

individuales a la CE. La reducción de la VFC inmediata post ejercicio puede ser un indicador complementario en la evaluación de la CI.

Abstract

Objective: Analyze the relationship between Post exercise heart rate variability (HRV) and internal (ITL) and external training load (ETL) at intermittent training of a youth field hockey state team. **Methods:** During a 12 week period, 11 youth players (14.41 ± 0.51 years) from a male field hockey team were evaluated in regard of their ETL using triaxial accelerometers (Actigraph) and data was later contrasted with ITL, which was measured using HR monitors (Polar Team2) by four different TRIMP methods: Banister's (bTRIMP), Edwards's (eTRIMP), individualized (iTRIMP) and modified (mTRIMP). HRV was also analyzed using heart rate (HR) monitors (Polar H7). Consequently, ITL and its components were compared with post-exercise HRV at minutes five (Post5) and ten (Post10) in relation with pre exercise values. **Results:** Relationship was found between HR (beat/min) and ETL by accelerometry ($r = .699$, $R^2 = 0.489$, $p < .01$). High correlation coefficient between four TRIMP methods was observed ($r = .808-.984$, $p < .01$). Nevertheless, no agreement was found between ITL values from the four methods ($p < .01$). ETL was related to the four TRIMP methods: bTRIMP ($r = .509$, $R^2 = .259$, $p < .01$), mTRIMP ($r = .516$, $R^2 = .267$, $p < .01$), eTRIMP ($r = .336$, $R^2 = .113$, $p < .01$) and iTRIMP ($r = .224$, $R^2 = .050$, $p < .01$). Correlation was found between Post5 HRV reduction and training intensity (RMSSD $r = -.399$, $p < .01$; SS $r = .363$, $p < .01$; S/PS $r = .395$, $p < .01$) minutes below first lactate threshold (LT) (RMSSD $r = .241$, $p < .01$; SS $r = -.221$, $p < .01$; S/PS $r = -.178$, $p < .01$) and above second LT (RMSSD $r = -.192$, $p < .01$; SS $r = .177$, $p < .01$; S/PS $r = .242$, $p < .01$), as well as TRIMP values, bTRIMP (RMSSD $r = -.348$, $p < .01$; SS $r = .344$, $p < .01$; S/PS $r = .444$, $p < .01$), eTRIMP (RMSSD $r = -.372$, $p < .01$; SS $r = .359$, $p < .01$; S/PS $r = .434$, $p < .01$), iTRIMP (RMSSD $r = -.332$, $p < .01$; SS $r = .328$, $p < .01$; S/PS $r = .377$, $p < .01$) and mTRIMP (RMSSD $r = -.350$, $p < .01$; SS $r = .336$, $p < .01$; S/PS $r = .429$, $p < .01$). No relationship was found between TL parameters and HRV recovery. **Conclusions:** TRIMP methods are adequate for ITL assessment at intermittent sports. Individualized TRIMP is a better representative of individual

responses to ETL. Immediate post-exercise HRV reduction can be a complementary parameter for ITL assessment.

Abreviaturas

%FCres	Porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva
°C	Grados Celsius
AF	Modulación de alta frecuencia de la VFC
BF	Modulación de baja frecuencia de la VFC
BF:AF	Relación baja frecuencia y alta frecuencia de la VFC
bTRIMP	TRIMP de Banister
CE	Carga externa
CHP	Caballos de fuerza
CI	Carga interna
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
CV	Coeficiente de variación
e	Logaritmo natural Neperiano con valor de 2.712
ES	Tamaño del efecto (<i>Effect size</i>)
eTRIMP	TRIMP de Edwards
FC	Frecuencia cardiaca
FCmax	Frecuencia cardiaca máxima
FCmin	Frecuencia cardiaca mínima
FCres	Frecuencia cardiaca de reserva
g	Unidades de aceleración en gravedad, 9.8 m/s ²
GAS	Síndrome de adaptación general (<i>General Adaptation Syndrome</i>)
GPS	Sistema de posicionamiento global (<i>Global positioning system</i>)
H ⁺	Ion hidrógeno
ICC	Coeficiente de correlación intra-clase
IFT 30-15	Prueba intermitente de aptitud física (<i>Intermittent Fitness Test</i>) 30-15
iTRIMP	TRIMP individualizado de Manzi
Kg	Kilogramo
Km/h	Kilómetro por hora
La ⁻	Lactato

lat/min	Latidos por minuto
Ln RMSSD	Logaritmo natural de la RMSSD
LS	Lactato sanguíneo
MBF	Modulación de muy baja frecuencia de la VFC
MLSS	Máximo estado estable de lactato (<i>Maximal lactate steady state</i>)
mmol/l	Mili moles por litro
mph	Millas por hora
mTRIMP	TRIMP modificado
NN50	Número de intervalos N-N (<i>Normal to Normal</i>) sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms
OBLA	Inicio de la acumulación de lactato (<i>Onset of Blood Lactate Accumulation</i>)
pNN50	Proporción derivada de dividir NN50 entre el total de intervalos N-N
Post10	Registro de VFC entre los minutos 5 y 10 post ejercicio
Post5	Registro de VFC entre los minutos 0 y 5 post ejercicio
Pre5	Registro de VFC 5 minutos previos al entrenamiento
REST-Q	Cuestionario de estrés recuperación (<i>Recovery-Stress Questionnaire</i>)
RMSSD	Raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R adyacentes (<i>Square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent R-R intervals</i>)
RPE	Índice de esfuerzo percibido (<i>Rating of perceived exertion</i>)
S/PS	Balance simpático/parasimpático
SD1	Eje transversal del diagrama de Poincaré
SD2	Eje longitudinal del diagrama de Poincaré
SDNN	Desviación estándar de todos los intervalos R-R (<i>Standard deviation of all normal R-R</i>)
SEM	Error estándar de la media
SFRA	Teoría del estímulo-fatiga-recuperación-adaptación (<i>Stimulus-Fatigue-Recovery-Adaptation</i>)

SHRZ	Sumatoria de zonas de FC (<i>Summated Heart Rate Zones</i>)
SNA	Sistema nervioso autónomo
sRPE	Índice de esfuerzo percibido de la sesión (<i>Session rating of perceived exertion</i>)
SS	Stress Score
TMA	Análisis de tiempo-movimiento (<i>Time motion analysis</i>)
TRIMP	Estímulo de entrenamiento (<i>Training Impulse</i>)
UA	Unidades arbitrarias
UL1	Primer umbral de lactato
UL2	Segundo umbral de lactato
UV1	Primer umbral ventilatorio
UV2	Segundo umbral ventilatorio
VFC	Variabilidad de la frecuencia cardiaca
VO ₂	Consumo de oxígeno absoluto
VO ₂ max	Consumo máximo de oxígeno relativo
vOBLA	Velocidad al inicio de la acumulación de lactato (<i>Velocity Onset of Blood Lactate Accumulation</i>)

Tabla de contenidos

Introducción.....	1
Capítulo 1 Fundamentos teóricos.....	7
Hockey sobre pasto	7
Periodización del entrenamiento	9
Principio de súper-compensación	14
Cuantificación de la carga	20
Carga externa	26
sRPE	31
Lactato	33
TRIMP	39
Variabilidad de la frecuencia cardiaca.....	54
Capítulo 2 Fundamentos metodológicos	64
Diseño	64
Muestra	64
Variables	65
Carga externa.	65
Carga interna.	66
Variabilidad de la frecuencia cardiaca.	66
Procedimiento	67
Información demográfica	68
Prueba intermitente de aptitud física 30-15.	70
Perfil de LS en prueba incremental.....	71
Sesiones de entrenamiento.	73
Monitoreo de la FC.	74
Carga externa.	74
eTRIMP.....	75
bTRIMP.....	76
iTRIMP.....	77
mTRIMP.....	80
Cálculo de los índices de entrenamiento.	80

Variabilidad de la frecuencia cardiaca.	81
Procesamiento de datos	82
Capítulo 3 Resultados	85
Capítulo 4 Discusión	103
Conclusiones.....	115
Referencias	117
Anexos	133

Índice de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. <i>Principales fases y sub-fases de la periodización</i>	10
Tabla 2. <i>Escala de Borg</i>	32
Tabla 3. <i>Zonas de FC de Edwards</i>	43
Tabla 4. <i>Zonas de intensidad en umbrales ventilatorios de Lucia y de lactato de Seiler y Kjerland</i>	46
Tabla 5. <i>Zonas de FC de Stagno</i>	47
Tabla 6. <i>Media y desviación estándar de la información demográfica de la muestra</i>	65
Tabla 7. <i>Porcentajes de tiempo transcurridos en las zonas de alta (> 2UL), baja (< 1UL) y media (1UL – 2UL) intensidad durante los entrenamientos de hockey de acuerdo a los valores de FCres observados</i>	85
Tabla 8. <i>Coeficientes de ponderación de acuerdo a la ecuación exponencial $y = a * e^{b*x}$</i>	87
Tabla 9. <i>Valores descriptivos de minutos, Carga del jugador, eTRIMP, bTRIMP, mTRIMP e iTRIMP por sesión de cada sujeto</i>	89
Tabla 10. <i>Valores descriptivos de los índices de Carga del jugador, bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP por minuto de todas las sesiones de entrenamiento</i>	92
Tabla 11. <i>Valores descriptivos de los índices de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP y Carga del jugador ajustados (multiplicados por 100 para un mejor manejo) de todas las sesiones de entrenamiento</i>	93
Tabla 12. <i>Coeficientes de correlación entre los cuatro métodos de TRIMP</i>	94
Tabla 13. <i>Coeficientes de correlación entre los parámetros de volumen e intensidad y valores normalizados relativos a Post5 de la VFC</i>	100
Tabla 14. <i>Coeficientes de correlación entre los parámetros de volumen e intensidad y valores de recuperación entre Post5 y Post10 de la VFC</i>	101
Tabla 15. <i>Coeficientes de correlación entre los métodos de TRIMP y valores normalizados relativos a Post5 de la VFC</i>	101
Tabla 16. <i>Coeficientes de correlación entre los métodos de TRIMP y recuperación de la VFC entre Post5 y Post10</i>	102

Figuras

<i>Figura 1.</i> Principio de súper-compensación.	15
<i>Figura 2.</i> Rendimiento según el paradigma Fitness-Fatiga.....	18
<i>Figura 3.</i> Gráfica típica de la relación “lactato-intensidad de trabajo”.....	37
<i>Figura 4.</i> Gráfica de Poincaré.....	56
<i>Figura 5.</i> Gráfico del protocolo del estudio.....	67
<i>Figura 6.</i> Impresión de resultado báscula TANITA.....	69
<i>Figura 7.</i> Gráfica de FC de la prueba de esfuerzo incremental.....	72
<i>Figura 8.</i> Captura de los valores de la prueba de esfuerzo incremental.....	73
<i>Figura 9.</i> Fórmula de la frecuencia cardiaca de reserva en Microsoft Excel...	78
<i>Figura 10.</i> Fórmula en Microsoft Excel del factor de ponderación individualizado (y) para el cálculo del iTRIMP	79
<i>Figura 11.</i> Cálculo del iTRIMP	79
<i>Figura 12.</i> Sumatoria de cada uno de los valores de iTRIMP.....	80
<i>Figura 13.</i> Captura de pantalla software Kubios para análisis de VFC.....	82
<i>Figura 14.</i> Comparación entre la gráfica de <i>Carga del jugador</i> y FC.....	86
<i>Figura 15.</i> Gráfico de dispersión entre CE por acelerometría y FC en lat/min..	87
<i>Figura 16.</i> Curvas de lactato individuales por sujeto. Curva que representa la media de los valores del equipo	88
<i>Figura 17.</i> Comparativa entre factores de ponderación de los métodos de Banister, Stagno, Manzi y este estudio	89
<i>Figura 18.</i> Comparativa de Carga del jugador y métodos bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP	91
<i>Figura 19.</i> Comparación de medias entre los métodos de TRIMP.....	95
<i>Figura 20.</i> Gráfico de Bland y Altaman entre los métodos de eTRIMP y mTRIMP.....	96
<i>Figura 21.</i> Cuadros de dispersión y coeficientes de determinación entre los métodos de TRIMP y Carga del jugador	97
<i>Figura 22.</i> Comportamiento de VFC en Pre, Post5 y Post10	99

Introducción

Durante el proceso de entrenamiento deportivo el entrenador prepara al atleta en aspectos técnicos, tácticos, físicos, teóricos y psicológicos, suministrando una dosis de ejercicios denominados carga externa (CE), que generan una respuesta de estrés fisiológico en el organismo considerada como carga interna (CI). La intención de proceso de entrenamiento es mejorar la capacidad de rendimiento del deportista en un periodo de tiempo específico para enfrentar una o varias competencias fundamentales (Deweese, Hornsby, Stone, & Stone, 2015; Turner, 2011). Para cumplir los objetivos de la preparación, el entrenador distribuye la CI de manera racional, interponiendo periodos de trabajo y recuperación durante el proceso de entrenamiento por medio de la manipulación de los componentes de volumen, intensidad y densidad; a este proceso se le conoce como periodización del entrenamiento (García-Pallarés, García-Fernández, Sánchez-Medina, & Izquierdo, 2010). Las mejoras en el rendimiento de los atletas están basadas en el principio de la súper-compensación. El paradigma *fitness-fatiga* (Fitz-Clarke, Morton, & Banister, 1991) sostiene que cuando al atleta se le somete a una primera fase de carga física, se generan simultáneamente efectos negativos (fatiga) y positivos (*fitness*). Posteriormente la etapa de carga es seguida por una fase de recuperación durante la cual el organismo lleva a cabo adaptaciones fisiológicas por encima de los valores iniciales, debido a que durante el descanso el componente de fatiga se disipa a un ritmo más rápido que el componente de *fitness* (Issurin, 2010).

Tomando en cuenta el paradigma de *fitness-fatiga*, se vuelve evidente la importancia de la cuantificación de las cargas externa e interna en el proceso de entrenamiento deportivo. El entrenador debe asegurarse de dosificar el estímulo suficiente para generar estrés fisiológico que provoque la activación de mecanismos de compensación, a su vez, cerciorar que no rebase la capacidad de recuperación del atleta, ya que esto último acarrearía riesgo de provocar síndrome de sobre-entrenamiento (Meur et al., 2013). En el hockey sobre pasto, clasificado como deporte de conjunto, la cuantificación de la carga interna y externa se vuelve difícil, ya que la actividad es de carácter intermitente. Durante los juegos se realizan

acciones características del deporte (pases, intercepciones, tiros, tackles, conducciones, controles) llevadas a cabo en diferentes intensidades intercaladas con periodos de descanso de manera impredecible, lo que impone demandas fisiológicas únicas a los jugadores (Vinson & Peters, 2016).

Para la cuantificación de la CE en deportes de conjunto se han utilizado métodos como el sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, [GPS]) con dispositivos de rastreo de movimiento (Jennings, Cormack, Coutts, & Aughey, 2012; Suarez-Arrones, Portillo, González-Ravé, Muñoz, & Sánchez, 2012; Varley, Fairweather, & Aughey, 2012), análisis de tiempo-movimiento (*Time-Motion Analysis*, [TMA]), basados en el análisis de video posterior a los juegos o entrenamientos y las variables que se identifican son: tipos de movimientos realizados, frecuencia de ocurrencia de los movimientos, distancias recorridas, velocidades, aceleraciones, entre otros (Abdelkrim, Fazaa, & Ati, 2007; Canovas, Arias, García, & Yuste, 2014; Klusemann, Pyne, Hopkins, & Drinkwater, 2013). Sin embargo, por la imprecisión del GPS (Varley et al., 2012) y la gran cantidad de tiempo que consume el análisis de video a través del TMA (Canovas et al., 2014), ambos métodos presentan inconvenientes para la cuantificación de CE en deportes intermitentes (Scanlan, Wen, Tucker, & Dalbo, 2014). Recientemente se ha apoyado el uso de acelerómetros para cuantificar la CE en deportes de conjunto (Scanlan et al., 2014), ya que este método supera las limitaciones del TMA y el GPS (Casamichana, Castellano, Calleja-Gonzalez, San Román, & Castagna, 2013; Scanlan et al., 2014; Scott, Lockie, Knight, Clark, & Janse De Jonge, 2013; Scott, Black, Quinn, & Coutts, 2012), por lo que se considera adecuado para cuantificar CE en deportes intermitentes (Casamichana et al., 2013; Scanlan et al., 2014; Scott et al., 2013; Scott et al., 2012).

Para medir la CI en deportes de equipo se ha utilizado el método subjetivo “Índice de esfuerzo percibido de la sesión” (*Session Rating of Perceived Exertion*, [sRPE]) introducido por Foster (2001). Según este método el atleta asigna un valor numérico a la intensidad percibida de esfuerzo y se multiplica por los minutos de duración de toda la sesión. Sin embargo, la subjetividad de los valores que arroja el

sRPE ponen en duda su validez, por lo que se recomienda contrastarlos con valores de métodos objetivos (Bara Filho, de Andrade, Nogueira, & Nakamura, 2013). Banister (1991) propone un método para cuantificar la CI en deportes de carga continua denominado “estímulo de entrenamiento” (*Training Impulse*, [bTRIMP]), el cual considera la intensidad del ejercicio calculada por el método de frecuencia cardiaca de reserva (FCres) y el volumen mediante el tiempo de duración. El promedio de los valores de FCres de la sesión se multiplica por un coeficiente de ponderación que resulta de la relación entre la FC y el nivel de lactato sanguíneo (LS) observado en una prueba de esfuerzo incremental y a su vez por los minutos que dura la sesión. Se ha cuestionado la utilización del bTRIMP para cuantificar la CI en deportes intermitentes ya que el promedio de la FCres de la sesión no refleja de manera precisa las fluctuaciones de FC durante la sesión de entrenamiento, el cual intercala esfuerzos de alta, media y baja intensidad (Alexiou & Coutts, 2008). Por este motivo, se han hecho adaptaciones al bTRIMP para cuantificar la carga en deportes de conjunto. Edwards (1994) propuso una adecuación del TRIMP (eTRIMP) para atender la problemática de deportes intermitentes, clasificando los valores de FC en cinco zonas de porcentaje de la FC máxima (%FCmax) y multiplicando el tiempo transcurrido en cada zona por un coeficiente de ponderación arbitrario. En hockey sobre pasto, Stagno, Thatcher y Van Someren (2007) propusieron una adaptación al método de bTRIMP clasificando los valores de FC en zonas de entrenamiento determinadas alrededor de valores de LS de los sujetos y con factores de ponderación asignados que reflejan el efecto fisiológico que estas intensidades provocan en el organismo. Recientemente se ha propuesto una nueva metodología de TRIMP individualizado (iTRIMP), que consiste en evaluar las respuestas individuales de LS al esfuerzo, además de tomar en cuenta todos y cada uno de los valores de FC observados durante la sesión (Manzi et al., 2010). Aunque se ha demostrado que esta metodología tiene una alta relación dosis-respuesta al entrenamiento en deportes intermitentes, este método requiere realizar pruebas máximas de esfuerzo a los sujetos para obtener sus respuestas de LS al esfuerzo incremental, lo cual representa un alto costo económico. Por esta razón, en este estudio se pone a prueba un método de TRIMP modificado (mTRIMP) que no

requiere la obtención de perfiles de LS, lo que consideramos puede ser una alternativa más práctica, barata y accesible para los entrenadores.

Otro método de evaluación de CI que actualmente ha cobrado importancia es la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), la cual es una herramienta no invasiva que se ha utilizado principalmente en estado basal para ver los efectos de la carga de entrenamiento en los estados de estrés y recuperación del atleta (Morales et al., 2014). Ésta funciona como un indicador del estado del sistema nervioso autónomo (SNA), el cual controla la actividad simpática y parasimpática del cuerpo en respuesta al estrés provocado por la actividad física (Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, 2015). Aunque se han realizado estudios para verificar la relación del comportamiento de la VFC post ejercicio con la CI de entrenamiento en actividad de carga continua (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2012; Saboul et al., 2015), aún existe un vacío de conocimiento sobre si este marcador biológico puede ser útil para la evaluación del estímulo de entrenamiento en deportes intermitentes.

La importancia de este estudio radica en aportar soporte empírico para el uso de la VFC post ejercicio para evaluar las respuestas fisiológicas del organismo al entrenamiento al contrastar estos valores con métodos de TRIMP basados en FC y con valores de CE. Establecer la relación entre estas variables puede crear una herramienta no invasiva, aplicable en campo y de bajo costo para monitorear la respuesta fisiológica a la CE en los entrenamientos de deportes de conjunto, asegurar las adaptaciones de mejora del rendimiento y prevenir el sobre-entrenamiento.

Estudios científicos que analizan la respuesta del organismo al entrenamiento físico típicamente utilizan métodos invasivos que requieren de extracción de sangre para la medición de marcadores biológicos. Estos métodos someten a los atletas a estrés, dolor e incomodidad. Además, los investigadores están en riesgo de contagio de enfermedades al obtener las muestras de sangre, por lo que su extracción, manejo y almacenamiento deben de estar sujetos a estrictos lineamientos de uso clínico. La cantidad de sangre a extraer en sujetos durante una investigación es

limitada, lo que puede restringir la realización de algunos tipos de estudios. Es por eso que consideramos conveniente realizar mediciones basadas en la FC sin requerir utilizar pruebas invasivas o trasladar a los sujetos a un ambiente de laboratorio.

El presente estudio se llevó a cabo en la Comisión del Deporte del Estado de Sonora, considerada como la institución rectora del deporte estatal, por lo que cobra importancia controlar el entrenamiento por medio de métodos científicos, ya que genera una mayor aceptación del programa deportivo al interior y al exterior de la institución. La percepción de la comunidad hacia los programas deportivos estatales puede mejorar al saber que la cuantificación de cargas de entrenamiento tiene bases científicas, lo que motiva a los jugadores a participar y crea una sensación de garantía de logro en la mejora de la capacidad de rendimiento deportivo, lo que se traduce en mejores resultados en competencia. Además, el prevenir que los atletas caigan en síndrome de sobre-entrenamiento evita efectos negativos de lesiones y enfermedades, reduciendo el gasto de recursos en tratamiento médico, elevando el prestigio de los programas de apoyo.

Por lo anterior nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Existe relación entre la VFC post ejercicio con la carga externa e interna en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto?

El objetivo general que se ha planteado para resolver esta problemática es: Analizar la relación de la VFC post ejercicio con la carga externa e interna en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto.

Los objetivos específicos establecidos para el logro del objetivo general son:

1. Verificar la intermitencia de la actividad durante el entrenamiento de hockey tanto en el orden individual como grupal.
2. Comprobar la relación lineal entre la FC y la CE en actividad intermitente.
3. Analizar la relación dosis (CE) respuesta (CI) entre los sujetos.

4. Relacionar los resultados de CI de entrenamiento calculada por los métodos de bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP.
5. Comparar la magnitud de CI calculada por los métodos de bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP.
6. Determinar la relación entre CE de entrenamiento y métodos de bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP.
7. Diferenciar los valores de VFC observados pre entrenamiento, post entrenamiento y de recuperación.
8. Relacionar los componentes de la CI (volumen e intensidad) con la reducción y recuperación de la VFC post entrenamiento.
9. Relacionar el TRIMP con la reducción y recuperación de la VFC post entrenamiento.

Con base a la revisión bibliográfica realizada nos planteamos la siguiente hipótesis:

Ha: La reducción y recuperación de la VFC post ejercicio está relacionada con la CE y CI en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto.

Ho: La reducción y recuperación de la VFC post ejercicio no está relacionada con la CE y CI en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto.

Capítulo 1 Fundamentos teóricos

Hockey sobre pasto

El hockey sobre pasto es un deporte de conjunto, dinámico, en el que los atletas requieren una combinación de potencia, velocidad, agilidad, resistencia y habilidades específicas (Gabbett, 2010). Durante los entrenamientos se requiere la capacidad de sostener esfuerzos intermitentes en ejercicios de alta intensidad (Rampinini et al., 2015). Los jugadores juegan posiciones con roles específicos, por lo que se debe de considerar el principio de la individualización durante los entrenamientos (Vinson & Peters, 2016). Por otra parte, también se debe considerar el tiempo de juego que dedica cada jugador durante la competencia (Gabbett, 2010). Durante el juego se realizan acciones propias de este deporte como pases, intercepciones, tiros, *tackles* (tratar de quitarle la pelota a un contrario que la controla), conducciones, controles y faltas, lo que impone demandas fisiológicas únicas a los jugadores (Vinson et al., 2013). Los equipos actuales están sujetos a calendarios deportivos de larga duración, en el año se presentan varias competencias fundamentales que duran varios meses; por lo tanto, los jugadores pueden llegar a jugar hasta dos o tres veces a la semana (Issurin, 2010). Por lo anterior, es de gran importancia conocer los efectos del entrenamiento y la competición sobre los jugadores para llevar a cabo una adecuada planificación (Vescovi, 2016).

Las características de esfuerzos intermitentes del hockey sobre pasto implican dificultad en la cuantificación de las cargas de entrenamiento. El proceso completo comprende la cuantificación de la CE y CI (Scott et al., 2013; Scott et al., 2012). En deportes de carga continua la distancia recorrida y la velocidad son indicadores válidos de CE (Taylor et al., 2015). Sin embargo, en hockey sobre pasto estos valores son difícilmente identificables. En este deporte se miden distancias, movimientos, velocidades y aceleraciones para la descripción de la CE (Scanlan et al., 2014). Es importante destacar que los valores de CE describen solamente la actividad que realizó el jugador y puede no describir de manera precisa el estrés

fisiológico impuesto al atleta (Nunes et al., 2014). En deportes de carga continua la duración y la FC han sido considerados como indicadores válidos de CI (Taylor et al., 2015). Los métodos más utilizados para la cuantificación de la CI en deportes de conjunto han utilizado parámetros perceptuales (Alexiou & Coutts, 2008; Foster et al., 2001; Impellizzeri, Rampinini, & Marcora, 2005) y fisiológicos (Abdelkrim et al., 2010; Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010; Narazaki, Berg, Stergiou, & Chen, 2008; Scanlan et al., 2014). Para cuantificar las cargas internas y externas se debe de entender la naturaleza de la práctica de este deporte.

Para comprender las demandas físicas de la competencia en el hockey sobre pasto se revisó la distribución de la intensidad de las actividades realizadas. Datos recientes indican que el hockey sobre pasto es un deporte de naturaleza intermitente de alta intensidad (Macleod et al., 2009). Un estudio basado en la velocidad de los desplazamientos reportó que del total de tiempo de juego, del $55.5 \pm 6.3\%$ se realiza actividad de intensidad baja, $38.1 \pm 5.0\%$ en actividad de intensidad moderada y sólo del $16.4 \pm 2.2\%$ se realizan actividades de intensidad alta (Macutkiewicz & Sunderland, 2011). Sin embargo, los valores de FC observados en estudios investigativos revelan que los jugadores muestran valores medios mayores al 85% de la FCmax durante la mayoría del tiempo de juego (Vescovi, 2016). Esto sugiere la importancia de contrastar los valores de cargas físicas externas e internas.

Estudios basados en fatiga reportan que las demandas físicas varían a lo largo de los diferentes periodos del juego, en particular se observa una reducción en la demanda de alta intensidad en las etapas posteriores (Buglione et al., 2013). También se ha reportado que existe un aumento significativo en actividades de pararse/caminar con la progresión del juego (Buglione et al., 2013). Existen varios factores fisiológicos (agotamiento del glucógeno muscular, elevación de la temperatura, daño muscular inducido por actividad) y tácticos (aumento del control ofensivo, reducción de contragolpes) que funcionan como mecanismos que provocan las fluctuaciones observadas en la intensidad de la actividad durante un partido (Scanlan et al., 2015). Estas observaciones coinciden con otros deportes de campo con elevados requerimientos de alta intensidad y apariciones tempranas de fatiga, lo

que promueve una mayor disminución en rendimiento a lo largo de periodos de juego en equipos de alto nivel (Andersson, Randers, Heiner-Moller, Krustup, & Mohr, 2010; Mohr, Krustup, Andersson, Kirkendal, & Bangsbo, 2008). Por lo anterior, podemos observar que es aparente una disminución de las demandas físicas a lo largo de la competencia y puede deberse tanto a factores fisiológicos como tácticos.

Periodización del entrenamiento

Para obtener el más alto posible nivel de desempeño en el entrenamiento de hockey sobre pasto se debe de llevar a cabo un proceso de preparación del atleta en los aspectos técnico, táctico, psicológico, fisiológico y físico conocido como periodización (Deweese et al., 2015). El concepto de periodización se refiere a la manipulación y secuencia de variables de entrenamiento como son: carga, volumen, intensidad y tipo de ejercicio dentro del marco de ciclos específicos a lo largo del año para optimizar el desempeño atlético para una competencia fundamental (García-Pallarés et al., 2010). Esto es la manipulación estratégica de la preparación del atleta a través del empleo de fases de entrenamiento secuenciadas definidas como ciclos y etapas de trabajo (Bazyler et al., 2015). La periodización es un método lógico, secuencial y en fases, de manipular variables de entrenamiento para poder aumentar el potencial de lograr objetivos específicos de desempeño mientras se minimiza el potencial de sobre-entrenamiento y lesión por medio de la incorporación de recuperación planificada (Deweese et al., 2015). En conclusión, se entiende por periodización del entrenamiento deportivo al proceso planificación de la dosificación los componentes de las cargas de entrenamiento en periodos de tiempos definidos para el logro de la forma deportiva en una competencia específica.

Los modelos de periodización del entrenamiento emergieron de observaciones empíricas de entrenadores exitosos en el campo, así como por constructos teóricos desarrollados por metodólogos del entrenamiento. La raíz del diseño del programa de la periodización tradicional data desde los años 1950s y se basa en la experiencia obtenida en los primeros días del sistema de entrenamiento soviético (Bompa & Claro, 2008). El proceso comprende establecer periodos de tiempo diferenciados durante la preparación de un deportista para la competencia (Issurin, 2010). En el

modelo tradicional se pueden identificar tres periodos principales (ver tabla 1): el periodo de preparación previo a la competencia (preparatorio), el periodo de competencia (competitivo) y el periodo de recuperación (transitorio) posterior a la competencia (Bazyler et al., 2015). El propósito de la periodización es lograr mejorar el desempeño deportivo por medio de la aplicación de cargas de entrenamiento durante el periodo preparatorio y lograr el máximo desempeño (forma deportiva) de manera cronológicamente coincidente con una competencia fundamental en el periodo competitivo para transitar de una forma racional al siguiente ciclo de entrenamiento en el periodo transitorio (Turner, 2011).

Tabla 2.

Principales fases y sub-fases de la periodización (Turner, 2011).

Periodización			
Periodo preparatorio		Periodo competitivo	Periodo transitorio
Etapas generales	Etapas especiales		
Aumento de la capacidad aeróbica y anaeróbica Aumento de funcionalidad neuromuscular	Desarrollo y perfeccionamiento de habilidades biomotoras específicas del deporte	Mantener el acondicionamiento biomotor	Reducción de la capacidad de rendimiento con descanso activo

La periodización tradicional propone varias jerarquías de periodos de entrenamiento (Issurin, 2010). En primer lugar están los ciclos de preparación multi-anual, posteriormente se encuentran los ciclos anuales o macrociclos, a continuación encontramos los mesociclos que generalmente duran un mes, después los microciclos con duración de una semana y por último está la sesión diaria de entrenamiento (Bompa & Claro, 2008). La carga de entrenamiento está compuesta por tres variables, el volumen, la intensidad y la densidad (Hartmann, Bob, Wirth, & Schmidtbleicher, 2009). La periodización es la habilidad del entrenador de manipular estas variables a lo largo del proceso (Borresen & Lambert, 2009). La selección de volúmenes e intensidades de entrenamiento adecuados durante cada fase de entrenamiento es vital para la facilitación de las respuestas fisiológicas deseadas (Bazyler et al., 2015). La periodización tradicional sostiene que al inicio del entrenamiento, en lo que se conoce como la etapa general, se debe de observar un

alto volumen y una baja intensidad, posteriormente comienza una segunda etapa llamada “especial” donde existe una predominancia de la intensidad sobre el volumen (Hartmann et al., 2009). La etapa general supone el entrenamiento de la capacidad cardiorrespiratoria, coordinación general y habilidades atléticas básicas; la preparación especial se centra en rasgos específicos del deporte. Estos conceptos son aceptados y siguen vigentes en la actualidad en la comunidad deportiva (Issurin, 2010). Se ha observado que en deportes de intensidad continua el modelo tradicional de periodización es muy efectivo, ya que estudios longitudinales han demostrado que deportistas que siguen este modelo, con periodos de alto volumen de entrenamiento y baja intensidad (≤ 2 mmol/l LS) precedidos por un corto periodo de alta intensidad (≥ 4 mmol/l LS) y elementos propios de la disciplina han tenido altos resultados deportivos, como campeonatos y records mundiales (Guellich, Seiler, & Emrich, 2009; Laursen, 2010).

Los primeros modelos de periodización fueron con temporalidad anual, lo que se le conoce como “Plan anual de un pico”. Esto correspondía a deportes de temporada, los que sólo tenían una competencia fundamental en un periodo específico del año (Bazyler et al., 2015). El mejoramiento de las instalaciones deportivas, la diversificación de las competencias y el profesionalismo del deporte dieron a lugar esquemas de periodización de dos o tres picos, es decir, dos o tres competencias fundamentales en un año (Issurin, 2010). La situación actual del deporte exige a los atletas y equipos deportivos participar en largas temporadas de competencias con mínimo tiempo de preparación, en los que la forma deportiva se debe mantener en algunas ocasiones hasta por 35 semanas (Issurin, 2008). Esta situación entra en conflicto con la periodización tradicional, que supone un largo periodo de preparación para lograr la forma deportiva en un corto periodo de tiempo donde se lleva a cabo la competencia fundamental. Esta problemática ha dado pie a la creación de modelos alternativos de periodización.

Algunos deportes de conjunto tratan de llevar a cabo su entrenamiento apegándose al modelo tradicional, sin embargo, publicaciones recientes declaran que este tipo de modelo es contraproducente (Breil, Weber, Koller, Hoppeler, & Vogt,

2015; De Lima et al., 2012; Fleck, 2011; Issurin, 2008, 2010; Kiely, 2015; Painter & McBride, 2012; Prestes et al., 2009). Se han delineado numerosos inconvenientes de la periodización tradicional que pudieran evitar que los atletas elite alcancen mejoras de su desempeño: interacciones negativas o en conflicto debido al desarrollo simultáneo de demasiadas habilidades motoras diferentes, falla al proveer suficiente especificidad de carga de trabajo para permitir el desarrollo correcto de componentes seleccionados de *fitness*, inhabilidad para proveer múltiples picos de rendimiento debido a la excesiva duración de las distintas fases de entrenamiento, dificultad para mantener los efectos residuales del entrenamiento de habilidades desarrolladas previamente hasta la fase de pico (Issurin, 2008). Los periodos tradicionales preparatorio, competitivo y transitorio se vuelven inviables para aplicarlos en deportes de conjunto, por lo que se sustituyen por términos como “pre-temporada”, “temporada” y “fuera de temporada” (Issurin, 2010). En deportes de equipo se observa una reducida disponibilidad de tiempo para el periodo de preparación (entre dos y cuatro semanas) y un periodo competitivo de larga duración que puede durar entre 20 y 35 semanas (Turner, 2011). Para mantener la forma deportiva por tanto tiempo, desde un punto de vista fisiológico, la periodización adquiere mayor importancia (Issurin, 2010). Una larga temporada con un número importante de juegos frecuentemente supone un gran estrés en el organismo y puede causar efectos negativos como respuestas catabólicas pronunciadas, daños músculo-esqueléticos y una alta incidencia de lesiones (Howatson & Van Someren, 2008; Kellmann, 2010; Nemet et al., 2009). Estas observaciones dieron elementos a los teóricos de la metodología del entrenamiento deportivo a proponer nuevos modelos de periodización.

Una propuesta alternativa de la periodización tradicional ha sido la periodización ondulada (De Lima et al., 2012; Harries, Lubans, & Callister, 2015; Prestes et al., 2009). La periodización tradicional es lineal (Issurin, 2010), significando que el manejo de la carga de entrenamiento del plan comienza con un alto volumen y baja intensidad, estos valores se van invirtiendo progresivamente a lo largo del proceso. La propuesta de la periodización ondulada es alternar de manera repetida periodos de baja intensidad, alto volumen y viceversa en cortos periodos de

tiempo (De Lima et al., 2012; Fleck, 2011; Harries et al., 2015; Hartmann et al., 2009; Kok, Hamer, & Bishop, 2009; Monteiro et al., 2009; Prestes et al., 2009). Estudios recientes no pueden presentar resultados concluyentes con respecto a la conveniencia de la periodización ondulada sobre la periodización lineal, sin embargo la mayoría de los estudios han tenido la limitante de tener una duración máxima de 12 semanas (De Lima et al., 2012; Fleck, 2011; Harries et al., 2015; Hartmann et al., 2009; Kok et al., 2009; Monteiro et al., 2009; Prestes et al., 2009).

Para deportes de conjunto como hockey sobre pasto, se ha propuesto otra alternativa al modelo tradicional de periodización denominado entrenamiento por bloques. Esta metodología se basa en el concepto de entrenamiento concentrado unidireccional de Verchoshansky (Issurin, 2010). Este divide el tiempo de preparación en pequeños bloques (2 a 4 semanas) donde se entrenan altos volúmenes de un mínimo de habilidades, generalmente identificados como de *desarrollo* o *acumulación* donde las cargas de entrenamiento se elevan gradualmente, *competitivos* o *transformación* donde las cargas se estabilizan y de *recuperación* o *realización* en los que se hace un descanso activo de recuperación para el siguiente bloque (Issurin, 2010).

Otra propuesta de periodización para deportes de conjunto con largos calendarios competitivos es la de microciclos estructurados de Seirul-lo (1987). Este método proviene de la teoría de los sistemas complejos (Balague, Torrents, Hristovski, Davids, & Araújo, 2013). El modelo sostiene que en este tipo de escenarios el microciclo (semana) es la unidad de planificación más adecuada. Se reconocen cinco tipos de microciclos: preparatorio, transformación dirigida, transformación especial, mantenimiento y competición (Arjol, 2012). El microciclo contempla las estructuras: condicionales, coordinativa, cognitiva, emotivo-volitiva, socio-afectiva, creativo-expresiva y mental (Arjol, 2012). La carga semanal es individualizada y está determinada por el nivel de forma de cada sujeto (Reverter, Jové, Fonseca, & Navarro, 2012). Este modelo reconoce tres estados de forma deportiva: general, alta y óptima. La forma general se obtiene en la pretemporada, la forma alta se mantiene durante todo el ciclo de competencias y la forma óptima se

logra en los periodos de finales del campeonato (Acero, Seirul-lo, Lago, & Lalin, 2013; Reverter et al., 2012). El principio de súper-compensación se atiende al concentrar la carga en los días centrales del microciclo con un posterior descenso para obtener la forma deseada el fin de semana o el día de la competencia (Reverter et al., 2012). El volumen de entrenamiento está determinado por tres tipos: Carga específica, carga técnico-táctica y carga energética (Arjol, 2012). Cuando hay partidos entre semana, éstos se consideran como entrenamiento de alta carga y se ajustan los volúmenes de trabajo en los días adyacentes (Acero et al., 2013; Reverter et al., 2012). El microciclo estructurado contempla cuatro tipos de ejercicios: generales de preparación física, dirigidos específicos de la posición del jugador, especial donde se atienden situaciones tácticas específicas y competitivos donde se simulan situaciones de competencia (Arjol, 2012; Reverter et al., 2012). En los ejercicios generales a los jugadores se les instruye para solucionar situaciones tácticas de una sola manera, mientras que en los ejercicios competitivos ellos podrán resolverlos de todas las maneras posibles (Arjol, 2012). Este tipo de esquema promueve que los jugadores resuelvan las situaciones tácticas de acuerdo a sus características individuales, unos jugadores podrán resolverlas con atletismo mientras que otros con habilidad (Arjol, 2012; Lago, Casáis, Domínguez, Acero, & Seirul-lo, 2010; Seirul-lo, 2012). La efectividad de este modelo de periodización se manifiesta en su éxito en deportes de alta competencia, como fue la intervención del propio autor, Seirul-lo, como preparador físico del primer equipo de fútbol del FC Barcelona en los años de 1993 al 2014, donde obtuvieron diversos campeonatos internacionales (Seirul-lo, 2012).

Principio de súper-compensación

El aumento del rendimiento a través de la periodización se explica por medio del principio de súper-compensación (Issurin, 2010). Este principio sostiene que el atleta debe ser sometido a una fase de carga, seguida por una fase de recuperación. Según este principio durante la fase de recuperación es donde se llevan a cabo las adaptaciones fisiológicas (figura 1) que llevan al organismo a obtener niveles de rendimiento por encima de los valores iniciales (Issurin, 2010). Con atletas de alto

rendimiento el objetivo del entrenador al aplicar la carga es hacer llegar al deportista a un estado de extralimitación funcional (Turner, 2011), lo que es considerado un estado óptimo de acumulación de carga de entrenamiento (Bompa & Claro, 2008). Esto causa una disminución temporal del rendimiento debido a la fatiga acumulada, lo cual requiere de un periodo de recuperación de algunos días para posteriormente aumentar sus niveles iniciales de rendimiento (Kreher & Schwartz, 2012).

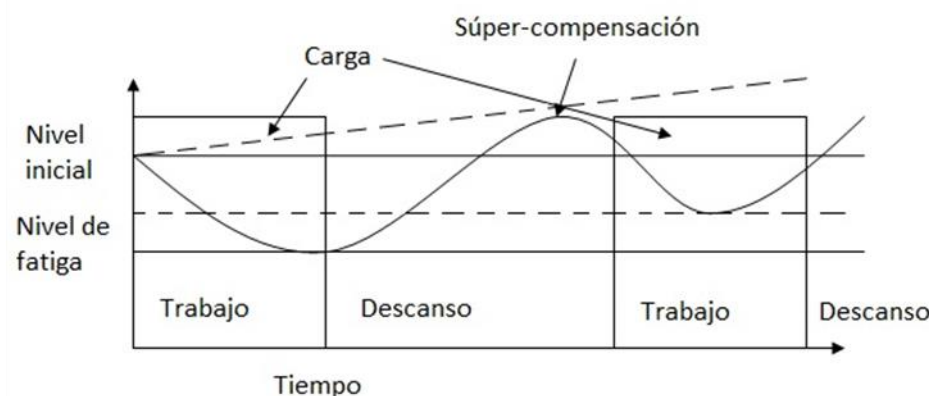


Figura 1. Principio de súper-compensación. Relación entre la capacidad de rendimiento y los periodos de carga y descanso (Turner, 2011).

Al periodizar se distribuye la carga de entrenamiento en ciclos de aproximadamente cuatro semanas, llamados mesociclos. Los mesociclos generalmente están distribuidos en una proporción carga-descanso de 3:1, en donde la carga se incrementa gradualmente los primeros tres microciclos (semanas) previo a una fase de descarga en el cuarto microciclo en donde se reduce la fatiga, lo que permite que se lleven a cabo las adaptaciones (Turner, 2011). Este proceso está descrito por tres teorías principales: el Síndrome de Adaptación General de Selye (*General Adaptation Syndrome*, [GAS]) (Selye, 1956), la Teoría del estímulo-fatiga-recuperación-adaptación (*Stimulus-Fatigue-Recovery-Adaptation*, [SFRA]) (Turner, 2011) y la teoría de *Fitness-fatiga* (Banister, 1991).

En el entrenamiento deportivo, el paradigma del GAS describe la respuesta fisiológica del cuerpo al estrés, es decir a la carga de entrenamiento. De acuerdo con Selye (1956), el organismo recibe estrés no solo del entrenamiento, sino de cualquier otro agente estresor, por lo que todo el estrés que reciban los sujetos se suma a la

carga total indistintamente del estresor. El GAS asume tres fases diferentes durante el estrés: La fase de alarma (fase uno) representa el reconocimiento y la respuesta inicial hacia el estresor. Esta respuesta puede llegar en forma de fatiga, rigidez, o dolor muscular. Posteriormente se inicia la fase de resistencia (fase dos), durante la cual el cuerpo regresa a su estado original de homeostasis previo al ejercicio o a una nueva forma más elevada de adaptación (súper-compensación). Finalmente asumiendo que la acumulación del estrés es muy grande se llega a la fase de agotamiento, lo que puede ser considerado como sobre-entrenamiento (Harries et al., 2015; Kreher & Schwartz, 2012).

Por otra parte, el concepto de la teoría de SFRA sugiere que la fatiga se acumula en proporción a la fuerza y duración del estímulo. Por lo tanto, después de una sesión de entrenamiento el cuerpo debe descansar, permitiendo que la fatiga se reduzca y la adaptación (súper-compensación) ocurra (Turner, 2011). Este concepto también sugiere que si el estrés no se aplica con la suficiente frecuencia (densidad) puede ocurrir un desentrenamiento. El tiempo que tarda el cuerpo en sufrir un desentrenamiento está relacionado con la duración del periodo de preparación. Entre más grande sea la duración del programa de entrenamiento mayores serán los efectos residuales (Issurin, 2010). Entrenadores que se adhieren a la teoría de SFRA tratan de obtener súper-compensación a través de periodos planificados de extralimitación (*overreaching*), provocando una acumulación de fatiga por medio de una ejecución secuencial de sesiones de entrenamiento similares superpuestas una sobre la otra (Turner, 2011). Esto lleva a una fatiga excesiva y una disminución aguda de las capacidades de fuerza y potencia. Sin embargo, al regresar a las cargas normales de entrenamiento, los atletas se recuperan más allá de sus valores iniciales (Tian, He, Zhao, & Tao, 2015). Esta estrategia sólo debe ser utilizada con atletas de nivel elite, los cuales tienen un pequeño margen de adaptación y por lo tanto requieren de intervenciones más intensas para poder provocar la respuesta de super-compensación (Bompa & Claro, 2008).

La teoría que prevalece hoy en día sobre el entrenamiento y la adaptación es el paradigma *fitness-fatiga* (Fitz-Clarke et al., 1991), que es considerada el principio

básico del *taper*, es decir, un periodo de disminución del entrenamiento previo a una competencia con la intención de aumentar el rendimiento (García-Pallarés et al., 2010). De acuerdo a este paradigma, la preparación del atleta puede ser evaluada en base al principio de los efectos del entrenamiento: el *fitness* y la fatiga. Al contrario a los conceptos del GAS y del SFRA, los cuales asumen que el *fitness* y la fatiga comparten una relación causa-efecto, el modelo *fitness-fatiga* sugiere que están inversamente relacionados (Fitz-Clarke et al., 1991). Esto significa que las estrategias que tendrán un más alto potencial de optimizar la preparación del atleta serán aquellas que maximicen el *fitness* y minimicen la fatiga (Buchheit & Laursen, 2013). Este modelo propone que después de inducir un estrés físico por medio del entrenamiento a un organismo, una vez retirada la fuente del estrés, el componente de fatiga declina a un ritmo más rápido que el componente de *fitness* y por lo tanto el estado de preparación aumenta (figura 2).

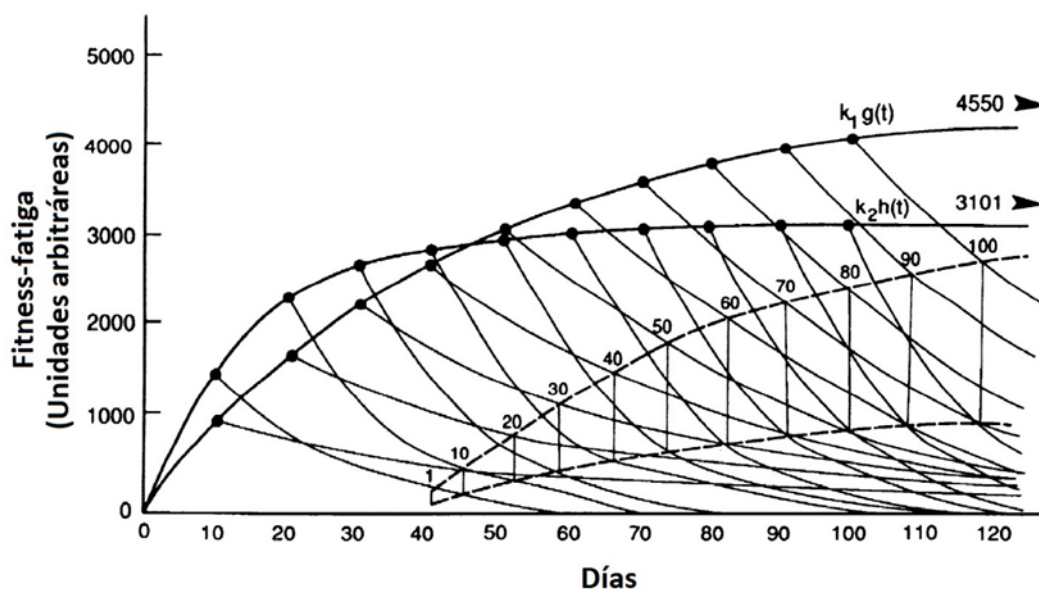


Figura 2. Rendimiento según el paradigma Fitness-Fatiga. Ilustra el comportamiento de los componentes de fitness y fatiga durante y después de un entrenamiento diario uniforme (Morton, Fitz-clarke, & Banister, 1990).

El estado de preparación alcanzado permanecerá vigente, a menos que el *fitness* se deteriore como resultado de un descenso en el volumen de entrenamiento (Deweese et al., 2015). Por lo tanto, el estado de preparación alcanza su máximo nivel en un periodo de tiempo cercano posterior a que el estímulo de entrenamiento se ha reducido. Ésta es la base del *Taper* y hasta cierto punto los mecanismos de la extralimitación funcional planificada (Deweese et al., 2015). Una diferencia clave entre el paradigma *fitness-fatiga* y los otros modelos es que discrimina entre las acciones de varios agentes estresores, como son los neuromusculares y metabólicos, lo que implica que los efectos posteriores de *fitness* y *fatiga* son específicos del ejercicio (Lyakh & Litkowycz, 2014, 2015). Esto sugiere que si el atleta está demasiado cansado para repetir un determinado ejercicio con calidad aceptable, puede ser que aún sea capaz de desempeñar otro tipo de ejercicio de manera satisfactoria. Esto establece el principio de los programas de hipertrofia intercalando días de trabajo de resistencia aeróbica.

Según el principio de súper-compensación, cuando el estrés causado por el entrenamiento es mayor que la capacidad de recuperación del atleta se genera un desbalance entre estos dos componentes, a este fenómeno se le conoce como sobre-entrenamiento (Tian et al., 2015).

Con el afán de obtener los mayores resultados deportivos, los entrenadores incrementan las cargas de entrenamiento con el objetivo de mejorar el rendimiento. Cuando existe una acumulación de cargas de entrenamiento y esto lleva a una reducción del rendimiento deportivo que requiera días o semanas, de recuperación el organismo entra en un estado de extralimitación funcional (Kreher & Schwartz, 2012). Este es considerado un estado deseado de entrenamiento en atletas elite, porque su tiempo de recuperación es relativamente corto (menor a dos semanas) y el efecto de súper-compensación asociado genera mejoras en el desempeño atlético (Tian et al., 2015). Si la extralimitación funcional es extrema y se siguen aplicando estresores adicionales, al atleta se le puede provocar un síndrome de sobre-entrenamiento. Esto resulta en perturbaciones de múltiples sistemas del cuerpo (neurológico, endocrinológico, inmunológico) acompañadas de cambios en el estado de ánimo, lo

que compromete seriamente el desempeño competitivo del atleta (Dupuy et al., 2012; Kreher & Schwartz, 2012; Matos, Winsley, & Williams, 2011; Meur et al., 2013; Nederhof, Zwerver, Brink, Meeusen, & Lemmink, 2008; Tian et al., 2015). La recuperación de un estado de síndrome de sobre-entrenamiento puede tomar meses o incluso años (Meeusen et al., 2013; Tian et al., 2015).

Llevar a cabo estudios que simulen situaciones reales que llevan a un sobre-entrenamiento en humanos son difíciles de conducir y generan una variedad de preocupaciones éticas, por lo que los estudios que tratan de identificar un marcador biológico, fisiológico o psicológico de este trastorno son escasos (Tian et al., 2015). Los signos más evidentes del sobre-entrenamiento están dados por la disminución de la capacidad de rendimiento de los atletas y por el perfil de trastornos de estados de ánimo (Kreher & Schwartz, 2012; Meeusen et al., 2010). Se ha tratado de encontrar un marcador biológico que diagnostique el sobre-entrenamiento, sin embargo, esto ha sido difícil, por lo que se deben proponer estudios que contrasten distintos valores convergentes para establecer conclusiones racionales (Ackel-Delia et al., 2010). Diagnosticar el sobre-entrenamiento de manera inequívoca es virtualmente imposible, porque el único signo evidente es una disminución en el desempeño deportivo durante la competencia o el entrenamiento (Meeusen et al., 2013). El diagnóstico definitivo del síndrome de sobre-entrenamiento siempre requiere excluir una enfermedad orgánica, desorden endocrinológico, deficiencia de hierro con anemia o enfermedades infecciosas (Meeusen et al., 2013).

Se han observado síntomas psicológicos en atletas sobre-entrenados, como son: aumento de conflictos con familiares, pareja, entrenador o amigos; reducción en la motivación para entrenar y competir; aumento de la frustración en el entrenamiento; baja en la auto-confianza; incapacidad de concentrarse en una tarea en particular; depresión, tristeza, y altos niveles de estrés percibido (Winsley, 2011). Como se ha observado que un deterioro en los estados de ánimo a menudo precede una baja en el rendimiento, esto nos indica que este factor puede ser útil para la detección temprana del sobre-entrenamiento (Slivka, Hailes, Cuddy, & Ruby, 2015).

Una forma de dar seguimiento a los atletas para verificar un estado de síndrome de sobre-entrenamiento son las pruebas de rendimiento físico (Meeusen et al., 2010). Una señal clásica del síndrome de sobre-entrenamiento es la incapacidad del atleta de sostener ejercicio intenso, se observa una disminución en la capacidad de rendimiento específico del deporte cuando la carga de entrenamiento se mantiene o se eleva (Meeusen et al., 2010; Meeusen et al., 2013). Atletas que sufren de síndrome de sobre-entrenamiento generalmente son capaces de comenzar una secuencia de entrenamiento pero son incapaces de terminar con la carga asignada (Meeusen et al., 2013).

Varios síntomas del sobre-entrenamiento están asociados al sistema energético predominante del deporte practicado. Los deportes con predominancia aeróbica generan alteraciones del sistema parasimpático, donde se presenta fatiga, depresión, bradicardia y pérdida de motivación (Kreher & Schwartz, 2012). Los deportes con predominancia anaeróbica generan alteraciones del sistema simpático, donde se presentan síntomas de insomnio, irritabilidad, agitación, taquicardia, hipertensión e inquietud (Kreher & Schwartz, 2012). Como la VFC se considera un indicador del sistema nervioso autónomo de la actividad simpática y parasimpática (Makivic, Djordjevic, & Willis, 2013), éste puede ser útil para monitorear el sobre-entrenamiento en dependencia del sistema energético predominante de la actividad deportiva.

Cuantificación de la carga

Puesto que se requiere el suficiente estímulo fisiológico para lograr la súper-compensación y el sobre-entrenamiento puede ser causado por un desbalance de largo plazo entre las cargas de entrenamiento y los periodos de recuperación, el monitoreo, tanto de las cargas de entrenamiento como de la recuperación de los atletas cobran gran importancia (Ackel-Delia et al., 2010; Kellmann, 2010).

El entrenamiento es un proceso por el cual los atletas son expuestos a estímulos sistemáticos y repetitivos con el objetivo de inducir adaptaciones para lograr un objetivo determinado, como retrasar el inicio de la fatiga, aumentar la potencia, aumentar la coordinación motora o reducir el riesgo de lesión. Se considera

que el resultado del entrenamiento depende del tipo y cantidad del estímulo, así como de entender la relación de causa-efecto entre la dosis de entrenamiento y la respuesta para prescribir ejercicios de entrenamiento de manera racional (Issurin, 2010).

Para analizar y establecer relaciones causales entre el entrenamiento, las adaptaciones fisiológicas y el nivel de desempeño resultante es necesario la cuantificación de la carga de entrenamiento con métodos precisos y confiables (Halsen, 2014; Mujika, 2013). Esta es la razón por la cual varios expertos en ciencias del deporte han destacado la importancia de la cuantificación de la carga de entrenamiento. Debido a la fuerza que tiene la relación entre el entrenamiento y los posibles efectos, como puede ser el desempeño o las lesiones, es sorprendente que la metodología de medición del entrenamiento no haya sido el centro de atención en la literatura de la ciencia del deporte (Mujika, 2017). Foster et al. (2001) destacaron que la habilidad de monitorear el entrenamiento es crítico para el proceso de cuantificar planes de entrenamiento.

Diversos estudios describen los métodos disponibles para los entrenadores e investigadores para cuantificar las cargas de entrenamiento llevadas a cabo por los atletas y hacen recomendaciones con respecto a su uso práctico tanto en el deporte como en la investigación (Borresen & Lambert, 2008, 2009). Se ha destacado la importancia de monitorear la carga de entrenamiento para determinar si un atleta se está adaptando al programa y para minimizar la posibilidad de extra-limitación no funcional, lesión y enfermedad, para ello se proponen algunas herramientas que están disponibles para su monitoreo (Halsen, 2014). El hecho de realizar mediciones objetivas y subjetivas del bienestar del atleta sirve para guiar el entrenamiento y detectar cualquier progresión hacia resultados negativos que se asocien con una baja en el desempeño (Saw, Main, & Gustin, 2015).

Cualquier método de cuantificación que se use se puede clasificar en externo o interno (Halsen, 2014; Lambert & Borresen, 2010; Mujika, 2017). La CE es una medida objetiva del trabajo que un atleta completa durante el entrenamiento o competencia y se mide independientemente de la respuesta interna. Esto contrasta

con la CI, la cual evalúa el estrés biológico impuesto por la sesión de entrenamiento y se define como el rompimiento de la homeostasis de los procesos metabólicos y fisiológicos durante la sesión de ejercicio de entrenamiento (Lambert & Borresen, 2010). Si un entrenador basa su plan de entrenamiento en CE, entonces no se mide el estrés biológico impuesto por una sesión específica de entrenamiento, por lo que dos atletas pueden llevar a cabo CE idéntica y sin embargo experimentar diferente CI dependiendo de su acondicionamiento, antecedentes y características genéticas (Lambert & Borresen, 2010). Es importante que durante la realización de estudios investigativos y en la ejecución de programas de entrenamiento se verifiquen los métodos más comunes de cuantificación de las cargas de acuerdo a los tipos de deportes que se están entrenando y se seleccionen las herramientas más adecuadas para medir el balance individual de estrés/recuperación.

En la mayoría de los deportes intermitentes el desempeño está determinado por la máxima producción de fuerza durante la competencia y la capacidad de minimizar el costo energético para mantener esfuerzos de intensidad alta. La capacidad de producir esfuerzos de alta intensidad y de corta duración puede determinar el resultado de una competencia, por lo que es importante entrenar velocidades máximas y capacidad anaeróbica (Mujika, Rønnestad, & Martin, 2016). Esto implica que se deben de incluir ejercicios de baja y alta intensidad en los entrenamientos para que los atletas puedan mantener un nivel aceptable de maestría técnica durante situaciones de competencia (Boullosa & Abreu, 2013; Seiler, 2010; Stöggl & Sperlich, 2014). Por lo tanto, los métodos de cuantificar cargas de entrenamiento deben de abarcar todo un rango de intensidades, además de otras variables de entrenamiento, como volumen, frecuencia y las modalidades de ejercicio que ejecuta el atleta (Mujika, 2017).

Entrenadores y científicos deben tener interés en los datos que se puedan obtener en relación a las cargas de entrenamiento y las respuestas de los atletas. Los datos relacionados al entrenamiento pueden tener un impacto motivacional con los atletas al ponderar el tiempo y esfuerzo invertidos, promoviendo un sentimiento de orgullo en los logros y animando a tener un acercamiento al entrenamiento más

sistemático y centrado en objetivos (Halsen, 2014). Lo más importante para la manipulación del entrenamiento es la información que el entrenador pueda obtener de la carga impuesta al atleta en cada sesión de entrenamiento. La falta de una descripción precisa de los contenidos de entrenamiento, en términos de volumen, intensidad y frecuencia, antes y durante la intervención, es una grave limitación en escenarios deportivos (Mujika, 2013).

En este sentido, entrenadores y científicos deportivos deben tener en cuenta la variación que puede haber con respecto a la CE en tres diferentes situaciones: la carga planificada, la carga prescrita diariamente y la carga que en realidad hace el atleta. Esta última es la carga que debe ser cuantificada y reportada para efectos de entrenamiento e investigación (Mujika, 2013). Dado que no existe un método considerado el estándar de oro para definir la carga de entrenamiento y que sea aplicable a todos los deportes bajo cualquier circunstancia, se necesitan considerar factores como accesibilidad, factibilidad, eficiencia del costo, validez y confiabilidad cuando se decida cual tipo de método de cuantificación de carga se va a utilizar (Halsen, 2014). Todos los métodos tienen ventajas y limitaciones, sin embargo, algunos son más adecuados para ciertos tipos de actividad (Lambert & Borresen, 2010). Se pueden observar cuatro tipos de métodos de cuantificación de carga de entrenamiento: cuestionarios retrospectivos, diarios, monitores fisiológicos y observación directa (Halsen, 2014). Los cuestionarios y diarios son baratos y fáciles de aplicar, pero son susceptibles a que los atletas distorsionen la información de manera intencionada o no intencionada. Se pueden obtener mediciones de entrenamiento más objetivas por monitoreo fisiológico (Borresen & Lambert, 2009). Consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca y concentraciones de LS han sido utilizados para determinar la intensidad del entrenamiento (Buchheit, 2013; Castagna, Impellizzeri, Chauachi, & Manzi, 2013; Christian, 2015). Pero cada uno de estos métodos presenta limitaciones: el VO₂ no es adecuado para esfuerzos supra-máximos, las mediciones de FC pueden ser afectadas por condiciones ambientales y el LS puede no ser adecuado para medir intensidades por encima del umbral de lactato, el cual además, puede variar de acuerdo al método que se use para

determinarlo (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009). La observación directa consume mucho tiempo y puede estar sesgada por el criterio del observador. Aunque las mediciones fisiológicas son más objetivas, se debe considerar el costo y la factibilidad para su uso continuo a largo plazo para personal que tenga limitaciones técnicas o económicas (Halsen, 2014; Mujika, 2017).

Para mejorar el entendimiento de la CE y CI hay varios marcadores biológicos que se pueden utilizar (Halsen, 2014), como el *Power Output*, velocidad, aceleración, potencia crítica, análisis de tiempo movimiento (Conte et al., 2015), GPS (Duffield, Reid, Baker, & Spratford, 2010); mediciones neuromusculares como el protocolo de Bosco (1983), desempeño en *sprints* (Buchheit, Spencer, & Ahmaidi, 2010), dinamómetros, RPE y sRPE (Herman, Foster, Maher, Mikat, & Porcari, 2006), TRIMP (Edwards, 1994; Lucia, Hoyos, Santalla, Earnest, & Chicharro, 2003; Manzi, Iellamo, Impellizzeri, Ottavio, & Castagna, 2009; Morton, Fitz-clark, & Banister, 1990), índice LS/RPE, FC de recuperación (Daanen, Lamberts, Kallen, Jin, & Meeteren, 2012), VFC (Plews, Laursen, & Buchheit, 2016; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014), índice de FC/velocidad de carrera (Edwards, 1994), evaluaciones bioquímicas (Edwards, Wetzel, & Wyner, 2006), hormonales e inmunológicas (Nunes et al., 2014), entre otras.

Se han discutido formas prácticas de obtener información del entrenamiento y adaptación para monitorear los niveles de fatiga para ajustar la prescripción del entrenamiento de acuerdo a los síntomas que se observan en respuesta del programa de entrenamiento (Borresen & Lambert, 2009). El entrenador debe de verificar la percepción de la dificultad de la sesión de entrenamiento, ¿qué tan difícil fue en realidad la sesión?, ¿cómo se recuperó el atleta?, ¿cómo está lidiando el atleta con la fatiga acumulada? (Makivic et al., 2013). Se recomienda que se utilicen de forma diaria los métodos de sRPE y TRIMP (Lambert & Borresen, 2010) y la prueba de recuperación de FC una vez a la semana (Mujika, 2017), también se recomienda el uso de cuestionarios como el REST-Q para verificar el estrés y recuperación del atleta (Saw et al., 2015). En un estudio para contrastar mediciones subjetivas contra mediciones objetivas fisiológicas y bioquímicas se verificó si estos

indicadores respondían a cambios agudos en el entrenamiento (Saw et al., 2015). No se encontró acuerdo entre las mediciones objetivas y subjetivas, por lo que se recomienda que se recojan estos datos de manera periódica.

Tanto la CE como la CI contribuyen a la cuantificación de la carga total de un atleta y una combinación de los dos métodos puede ser la clave para un monitoreo apropiado (Halson, 2014). Monitorear la carga diaria puede contribuir a optimizar el desarrollo del atleta al mejorar la regulación del entrenamiento y la posibilidad de detectar sobre-entrenamiento de manera oportuna (Roos, Taube, Brandt, Heyer, & Wyss, 2013). Evaluar la relación entre CI y externa, además de la relación de estas con el desempeño en competencia, puede ayudar a la valoración del balance estrés/recuperación y el ajuste individual al programa de entrenamiento para optimizar la adaptación (Issurin, 2010). La combinación entre datos cuantitativos y cualitativos se considera la estrategia más prometedora para evaluar las cargas de entrenamiento y las respuestas en los atletas (Roos et al., 2013). Se ha sugerido que la información más confiable es cuando se utilizan diariamente de manera combinada cuestionarios validados (RPE) y mediciones de FC (Mujika, 2017). Desde la perspectiva del entrenador, la información esencial es la duración del entrenamiento, la modalidad, RPE y los diarios del atleta.

Se pueden llevar a cabo estudios descriptivos sobre el entrenamiento para caracterizar el entrenamiento realizado o examinar las relaciones entre los contenidos y variables relacionadas al rendimiento (Mujika, 2017). Esto ha permitido caracterizar metodologías de periodización donde se identifica claramente la distribución de la intensidad del entrenamiento, como la es la periodización polarizada (Stöggl & Sperlich, 2014). Se encontró que la intensidad del ejercicio, en lugar del volumen o la frecuencia, era el factor clave en producir el efecto de entrenamiento que lleve a la mejora del desempeño durante la temporada (Padilla, Mujika, Santisteban, Impellizzeri, & Goiriena, 2008; Roos et al., 2013). Se ha declarado que el desentrenamiento previo o el estado de desempeño al inicio del ciclo pueden afectar negativamente el desempeño final a pesar de una buena adaptación al entrenamiento (Mujika, 2017).

Se han realizado estudios que buscan encontrar el balance adecuado entre los periodos de sobrecarga y de recuperación en el ciclo de entrenamiento (Hellard et al., 2013). Con este acercamiento se puede hacer un análisis de las variables de entrenamiento son recurrir a equipo muy sofisticado o costoso para hacerlo. Combinar CI y CE es importante para entender las adaptaciones del atleta y se deben de usar ambos métodos para poder predecir el desempeño (Halsen, 2014; Lambert & Borresen, 2010; Mujika, 2017).

Carga externa

Debido a la naturaleza impredecible de las actividades de los entrenamientos en deportes intermitentes como el hockey sobre pasto, se han utilizado unidades de sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, [GPS]) portátiles que han permitido obtener información para describir y entender el contexto espacial de la actividad física (Cummins, Orr, O'Connor, & West, 2013). Esta metodología aplicada a deportes de conjunto proporciona a los científicos, entrenadores y médicos un análisis racional en tiempo real del desempeño en campo del atleta durante competencias o entrenamientos (Cummins et al., 2013). Se han encontrado estudios recientes que reportan parámetros de posición, distancia, velocidad y patrones de movimiento en deportes de conjunto jugados en campo, como son el football australiano (Aughey, 2011; Mooney et al., 2011), futbol soccer (Buchheit, Simpson, & Bourdon, 2010; Castellano & Casamichana, 2010; Harley, 2010), rugby (Hartwig, Naughton, & Searl, 2011; Higham, Pyne, Anson, & Eddy, 2012; Suarez-Arrones, Portillo, González-Ravé, Muñoz, & Sánchez, 2012; Venter, Opperman, & Opperman, 2011), cricket (Petersen, Pyne, Portus, & Dawson, 2011; Petersen, Pyne, Dawson, Portus, & Kellett, 2010) y hockey (Jennings, Cormack, Coutts, & Aughey, 2012; Macutkiewicz & Sunderland, 2011). Esta metodología puede cuantificar objetivamente los niveles de esfuerzo y estrés físico en deportes individuales, examinar el desempeño en competencias, evaluar cargas de trabajo posicionales, establecer intensidades de entrenamiento y monitorear cambios en las demandas fisiológicas de los jugadores (McLellan, Lovell, & Gass, 2011). Valores de CE se han contrastado con respuestas fisiológicas (CI) para caracterizar el juego en

competencias, se han identificado respuestas diferenciadas entre las posiciones de campo de jugadores de Rugby League (McLellan et al., 2011).

Cuando se analiza la CE en deportes intermitentes es importante tener precisión en las mediciones. Se ha encontrado que el método de GPS disminuye su precisión al aumentar la velocidad de desplazamiento de los sujetos, tanto en línea recta, como en ejercicios de cambios de dirección. La confiabilidad de los datos aumenta al aumentar la distancia total de desplazamiento, sin embargo, disminuye al aumentar la velocidad (Jennings, Cormack, Coutts, Boyd, & Aughey, 2010).

En comparaciones con un sistema de análisis de movimiento con cámaras estroboscópicas se ha concluido que el método de GPS subestima tanto las velocidades como las distancias recorridas, por lo que se considera impreciso para la medición de este tipo de actividades (Coutts & Duffield, 2010). En el hockey sobre pasto se realizan movimientos corporales sin desplazamiento total del cuerpo, como luchar por posición o girar. Este tipo de acciones no se pueden detectar con este método por lo que se considera con bajos niveles de validez y confiabilidad (Jennings et al., 2010).

Ante la necesidad de cuantificar la CE impuesta a jugadores de deportes de equipo durante una competencia surge el interés por llevar a cabo análisis de tiempo movimiento (*Time Motion Analysis*, [TMA]) basados en video (Canovas, Arias, García, & Yuste, 2014). Con este método se han analizado los movimientos exactos que ejecutan los jugadores en un partido, se puede cuantificar el número de movimientos ejecutados en una situación de juego dada, velocidad de los jugadores, tiempo que dura cada movimiento, distancia recorrida y el índice de trabajo-descanso (Canovas et al., 2014). Se ha evaluado la CE por medio de los siguientes pasos: (a) establecer un catálogo para identificar movimientos específicos del deporte a analizar, (b) determinar los rangos de velocidad para cada movimiento con el fin de definir las intensidades de ejecución y (c) filmar y analizar el juego para obtener los datos (Abdelkrim, Castagna, Jabri, et al., 2010; Abdelkrim, Castagna, Fazaa, & Atl, 2010; Abdelkrim, Fazaa, & Ati, 2007; Andersson, Randers, Heiner-Moller, Krstrup, & Mohr, 2010; Canovas et al., 2014; Carling, Bloomfield, Nelsen, & Reilly, 2008;

Dobson & Keogh, 2007; Klusemann, Pyne, Hopkins, & Drinkwater, 2013; Matthew & Delextrat, 2009; Mohr, Krstrup, Andersson, Kirkendal, & Bangsbo, 2008; Scanlan, Dascombe, & Reaburn, 2011). Con base a este análisis, los movimientos que componen la CE en deportes de conjunto se han clasificado en: pararse, caminar, trotar, correr, sprint, saltar y deslizarse (Abdelkrim, Castagna, Jabri, et al., 2010; Abdelkrim, Castagna, Fazaa, et al., 2010; Andersson et al., 2010; Canovas et al., 2014; Klusemann et al., 2013; Matthew & Delextrat, 2009; Scanlan et al., 2011). Se encontró un estudio que también clasificó movimientos de la parte superior del cuerpo y posicionarse, las cuales no conllevan desplazamiento (Scanlan et al., 2011). La velocidad de cada tipo de movimiento se clasifica haciendo pruebas de campo, donde se realizan las acciones propias del juego y se registran los tiempos a diferentes velocidades utilizando fotoceldas (Canovas et al., 2014). En deportes de conjunto ocurren frecuentemente actividades de baja velocidad que involucran cambios de dirección en espacios congestionados; sin embargo, el desplazamiento horizontal es mínimo, así que los métodos comunes de TMA pueden no representar de manera precisa la carga impuesta en el cuerpo (Boyd, Ball, & Aughey, 2013).

Comprender la organización de la CE prescrita y las respuestas psico-fisiológicas y biomecánicas que representan la CI son consideraciones clave dentro del proceso general del entrenamiento deportivo (Impellizzeri et al., 2005). Los métodos de CE son utilizados principalmente para determinar la carga acumulada de una sesión, la cual se promedia entre los periodos de entrenamiento crónicos (mesociclos) y agudos (microciclos) para dosificar la prescripción de la carga total deportiva (Impellizzeri et al., 2005). Para tener un mejor análisis de la CE acumulada, se puede calcular el promedio de carga total por sesión, de esta manera se puede entender de una forma relativa, en vez de absoluta, las actividades externas que los jugadores puedan estar arrojando en un escenario de deportes de equipo (Weaving et al., 2017). Para ciertas modalidades de entrenamiento de equipo, como los juegos reducidos, lo específico de la CE con relación a la competencia es un punto importante (Hulin, Gabbett, Kearney, & Corvo, 2014). Se debe de entender qué tan limitada es la CE en los entrenamiento con relación a la provocada por la competencia (Delaney et al., 2016). El método más común de analizar la CE es la

distancia total recorrida (Venter, Opperman, & Opperman, 2011). Pero dada la naturaleza intermitente del hockey sobre pasto, la distancia recorrida a veces se pondera por las velocidades a las cuales se recorre para describir la distribución de la intensidad de las acciones locomotoras ejecutadas (Hulin et al., 2014). Sin embargo, este acercamiento puede ser incompleto al analizar la CE, ya que puede subestimar el aporte de los cambios de dirección y movimientos estacionarios, que resultan en eventos de aceleración y desaceleración (Rampinini et al., 2015). Esto es importante en deportes intermitentes donde a veces se llevan a cabo acciones en espacios reducidos tanto en juegos como en ejercicios de entrenamiento (Buglione et al., 2013), lo que hace que se aumenten los cambios de dirección. Por lo tanto, creemos que es importante adoptar un método de CE que tome en cuenta las acciones de aceleraciones y desaceleraciones sin que esto conlleve un desplazamiento, donde se tome en cuenta la carga relativa correspondiente a una sesión de entrenamiento.

Estudios previos ha propuesto que dispositivos portátiles de acelerometría pueden medir todas las formas de CE en deportes de conjunto (Montgomery, Pyne, & Minahan, 2010). Se ha observado un incremento en la popularidad en el uso de estos dispositivos para monitorear las cargas de entrenamiento en deportes de equipo (Aughey, 2011; Boyd, Ball, & Aughey, 2011; Boyd et al., 2013; Varley, Fairweather, & Aughey, 2012) ya que existen estudios que muestran que los acelerómetros superan las limitaciones del TMA en video y GPS para monitorear la CE (Casamichana, Castellano, Calleja-Gonzalez, San Román, & Castagna, 2013; Scott, Lockie, Knight, Clark, & Janse De Jonge, 2013; Scott, Black, Quinn, & Coutts, 2012), incluyendo un ritmo de muestreo más alto comparado con GPS, la habilidad de monitorear a múltiples jugadores, ya sea bajo techo o al aire libre, reduce el trabajo e incluye aspectos de habilidad y contacto de los deportes de equipo que contribuyen a las demandas físicas (Boyd et al., 2011), además su uso no obstruye el desarrollo de entrenamientos y competencias en deportes de equipo (Montgomery et al., 2010) por lo que resulta más adecuado. La capacidad de las técnicas de acelerometría de medir movimientos en los tres ejes la convierte en una metodología

adecuada para el análisis de CE en el hockey sobre pasto, ya que en este deporte se observan esfuerzos de alta intensidad que incluyen saltos, giros, contacto físico, y movimientos no-ortodoxos (carrera en reversa, movimientos laterales, deslizar, tirarse al suelo), que normalmente pueden ser subestimados en la cuantificación de carga total por ser clasificadas como movimientos de baja velocidad de desplazamiento (Boyd et al., 2013) a pesar de imponer altas cargas fisiológicas en los jugadores (Scott et al., 2013; Wundersitz et al., 2015).

La CE se ha cuantificado por medio de la metodología de la “*Carga del jugador*” derivada de la acelerometría (Scott et al., 2013). La ecuación es un vector de magnitud modificado que utiliza los datos del acelerómetro. Se expresa como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los cambios instantáneos en cambio de aceleración en cada uno de los tres vectores (ejes X, Y y Z) divididos entre 100. Los datos se expresan en unidades arbitrarias (UA) (Scanlan, Wen, Tucker, & Dalbo, 2014). Se ha evidenciado que la ecuación de carga de jugador derivada de acelerómetros triaxiales es un método válido para evaluar la carga de entrenamiento externa en deportes de equipo (Scott et al., 2012). Esta magnitud vectorial se acumula durante movimientos de habilidades específicas del deporte, contactos y otras actividades sin desplazamiento, por lo tanto puede indicar de mejor manera las demandas impuestas en actividades sin carrera específicas del deporte en comparación del dato de velocidad solamente (Scott et al., 2013).

Scott (2013) encontró que la CE por acelerómetro utilizando la ecuación de “*Carga del jugador*” se correlaciona significativamente con los métodos de TRIMP de Banister, Edwards y sRPE. La alta correlación entre la distancia total recorrida y la CE por acelerómetro acumulada sugiere que la magnitud de la carga de entrenamiento puede depender altamente de las aceleraciones medidas desde el movimiento vertical (eje z) lo que ocurre como consecuencia de la locomoción a cualquier velocidad, debido a las aceleraciones verticales generadas por cada contacto del talón (Scott et al., 2013). La acelerometría ha mostrado alta confiabilidad en escenarios específicos del deporte y de laboratorio (Boyd et al., 2011). Se ha reportado una alta correlación durante juego de football australiano entre la medida

de CE derivada de acelerómetros y la distancia locomotora ($r = .63-.76$) lo que sugiere que en ausencia de TMA, esta metodología puede proveer una medida adecuada de CE (Boyd et al., 2013). Mediciones de CE por “*Carga del jugador*” sugieren que esta metodología puede detectar diferencias entre tipos de actividad (ejercicios y juegos), posiciones de los jugadores y entre la competencia elite y sub-elite (Boyd et al., 2013; Montgomery et al., 2010).

sRPE

La cuantificación de la CI es medir objetiva o subjetivamente los efectos fisiológicos que los componentes del entrenamiento (volumen, intensidad y densidad del ejercicio) tienen sobre el organismo (Borresen & Lambert, 2009; Scott et al., 2013; Scott et al., 2012). Inicialmente se utilizaron cuestionarios y diarios para medir la carga de entrenamiento, pero han sido reemplazados por métodos más objetivos (Borresen & Lambert, 2009); en tiempos recientes los modelos de CI de entrenamiento que más se han utilizado en deportes de equipo son los que incorporan parámetros perceptuales y fisiológicos (Scanlan et al., 2014). Esto puede aportar una explicación científica al aumento o disminución de la capacidad de rendimiento, le permite al entrenador planificar las cargas y competencias de manera adecuada, se reduce el riesgo de lesión, enfermedad y extralimitación no-funcional, además puede ser útil para la selección de jugadores y determinar cuáles atletas están listos para las demandas de la competición, se pueden obtener beneficios en relación con la comunicación y las relaciones con los jugadores, personal de apoyo y entrenadores, también ayuda a involucrar a los jugadores en el monitoreo de las cargas, mejora su sentido de pertenencia al programa de entrenamiento y los empodera (Halsen, 2014).

Uno de los métodos más utilizados de CI es el RPE, el cual consiste en que el atleta asigne un valor numérico según su propia percepción de la intensidad del entrenamiento. El RPE se basa en una escala pre-determinada (escala de Borg, ver tabla 2) con valores numéricos del 0 al 10 (Bara Filho et al., 2013). El RPE está fundamentado en la idea de que el atleta es capaz de monitorear el estrés fisiológico que su cuerpo experimenta durante el ejercicio y por lo tanto, es capaz de ajustar la

intensidad de entrenamiento utilizando su propia percepción del esfuerzo (Borresen & Lambert, 2009). La compleja interacción de diversos factores que contribuyen a la percepción personal del esfuerzo físico, incluyendo concentraciones de hormonas, sustratos, rasgos personales, ritmo ventilatorio, niveles neurotransmisores, condiciones ambientales o estados psicológicos, pueden limitar el uso del RPE en la cuantificación precisa o prescripción de la intensidad (Borresen & Lambert, 2009). En un intento por cuantificar la CI de las sesiones de entrenamiento Foster (2001) introdujo la utilización del sRPE para medir la intensidad o el tipo de ejercicio que se está ejecutando. El sRPE se calcula multiplicando la dificultad general de la carga del ejercicio por los minutos de duración.

Tabla 2.
Escala de Borg.

Coeficiente de ponderación	Vínculos verbales
1	Descanso
2	Muy fácil
3	Fácil
4	Moderado
5	Un poco difícil
6	Difícil
7	Muy difícil
8	Muy, muy difícil
9	Casi al máximo
10	Máximo

Modificación de la escala de Borg del RPE (Herman et al., 2006). Los sujetos califican toda la sesión de entrenamiento 30 minutos después del ejercicio en respuesta a la pregunta verbal: "¿Cómo sentiste la intensidad de tu entrenamiento?".

Durante un programa de entrenamiento de un deporte de conjunto se compararon los datos obtenidos por el método del sRPE con la carga de entrenamiento planificada por los entrenadores y se encontró una alta coincidencia entre ambos elementos. Además, cuando los valores de carga del sRPE eran altos coincidía con un bajo estado de estrés-recuperación psicológico, lo que sugiere que el sRPE es válido para medir la intensidad del ejercicio y la CI de entrenamiento (Nunes et al., 2014). Para verificar la utilidad del método de sRPE de Foster como

indicador de la carga de entrenamiento aeróbico en futbol soccer, Bara Filho et al. (2013) correlacionaron el sRPE con varios métodos basados en monitoreo de la FC, el TRIMP de Edwards y Stagno, encontrando coeficientes de correlación significativa ($.67 > r > .59$, $p < .01$). De la misma manera, Alexiou y Coutts (2008) compararon el sRPE contra los valores de TRIMP de Banister, Edwards y Lucia, en jugadores de futbol soccer. En ejercicios de carga continua, como entrenamiento técnico táctico, se encontraron coeficiente de correlación altos ($.68 > r > .82$, $p < .05$) en todos los métodos de TRIMP utilizados y coeficientes de correlación bajos ($.25 > r > .52$, $p < .05$) en actividades de alta intensidad, como el trabajo de pesas.

El inconveniente del sRPE como método de cuantificación de CI es que los atletas tienden a sobre-estimar la intensidad del entrenamiento según las expectativas de su entrenador (Bara Filho et al., 2013). Además, los resultados sugieren que un método basado en el sRPE no puede reemplazar un método basado en el registro de la FC como una medición válida de la intensidad del ejercicio, ya que solamente se le atribuye el 50% de la variación medida (Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'Ottavio, & Castagna, 2015). Aunque puede ser más preciso utilizar un método objetivo de medición fisiológica como la FC, la medición subjetiva del sRPE es todavía útil, ya que si no se tiene acceso a monitores de FC o se requiere otra forma más fácil de reportar la intensidad del ejercicio, entonces ésta puede ser una opción de evaluación razonablemente precisa de la carga de entrenamiento aeróbico (Borresen & Lambert, 2009).

Lactato

Uno de los marcadores biológicos más estudiados en escenarios del deporte y en investigación del rendimiento físico es el LS. Este marcador es un producto secundario de la glicólisis anaeróbica (Faude et al., 2009) también conocida como el sistema energético anaeróbico láctico. La glicólisis anaeróbica es una vía metabólica donde una molécula de glucosa (o glucógeno) por medio de una reacción química se convierte en piruvato, el cual puede ser transportado a una mitocondria y ser completamente oxidado por la vía de fosforilación oxidativa o ser convertido en lactato (Tiidus & Tupling, 2012). Durante el ejercicio, cuando el ritmo de formación de

piruvato aumenta en el músculo, la enzima lactato-deshidrogenasa intenta mantener el equilibrio produciendo lactato. Por lo tanto, la reacción lactato-deshidrogenasa en la glicólisis normalmente se expresa en la dirección de piruvato-lactato, reflejando la producción muscular de lactato durante el ejercicio intenso. El lactato puede viajar desde las células musculares hacia la sangre, donde su concentración es utilizada como indicador de la intensidad del ejercicio (Tiidus & Tupling, 2012). Sin embargo, en tejidos musculares altamente aeróbicos, como el corazón, el lactato es una fuente de combustible importante para la producción de energía durante el ejercicio, donde se favorece la función inversa lactato-piruvato (Tiidus & Tupling, 2012).

Se ha relacionado al nivel de LS con la fatiga muscular, ya que coincide una elevación de los niveles de lactato con una elevación de la acidez (Faude et al., 2009). Se ha propuesto que la acidez que produce la fatiga muscular no está causada por la disociación de ácido láctico a lactato, sino por la concentración de ion hidrógeno (H^+) que produce el proceso de glicólisis (Tiidus & Tupling, 2012). Robergs et al. (2004) sostiene que la conversión de ATP no mitocondrial es la fuente principal de H^+ durante el ejercicio. Con base en principios fisio-químicos, los aniones ácidos fuertes que se producen con el incremento de la actividad glicolítica necesitan un incremento en la carga positiva neta para mantener electro-neutralidad y esta carga positiva se provee principalmente por la disociación del agua. Con referencia a los efectos de la acidosis metabólica, muchas de las confusiones con respecto al lactato se relacionan con la premisa de que la acidosis es la causa principal de fatiga muscular y la interrupción del ejercicio. Sin embargo, un estudio reciente ha demostrado un efecto limitado en la contracción muscular al inducir acidosis, estudios in-vitro han reportado un efecto protector de la acidosis contra una fuerza de depresión hipercalémica en el músculo esquelético (Cairns, 2006). Se han descrito otros efectos benéficos de la acidosis, incluyendo una mayor liberación de oxígeno de la hemoglobina, estimulación ventilatoria, flujo sanguíneo muscular aumentado e incremento en la actividad cardiovascular (Cairns, 2006). Sin embargo, las mediciones de LS y los niveles de acumulación de lactato en los músculos durante ejercicio intenso pueden proveer una medida razonable de la contribución glicolítica

al desempeño del ejercicio (Coutts, Rampinini, Marcora, Castagna, & Impellizzeri, 2015).

El ácido láctico se produce en la células musculares cuando el $\text{NADH} + \text{H}^+$ que se forma en la glicólisis se oxida a NAD^+ por la transferencia de un ion hidrógeno a ácido pirúvico, el cual a su vez se reduce a ácido láctico (Tiidus & Tupling, 2012). En el tejido muscular el ácido láctico se produce en magnitudes que están en equilibrio con el ácido pirúvico en condiciones normales de reposo. El ácido láctico producido inmediatamente se disocia a H^+ y La^- (lactato). Por otra parte, el ácido láctico se encuentra en constante producción por los glóbulos rojos de la sangre, partes del riñón y algunos tejidos en los ojos (Marcinek, Kushmerick, & Conley, 2010). Los valores de LS, tanto en reposo como en ejercicio, dependen del balance entre la producción y la eliminación del lactato. Cuando la producción excede la capacidad de eliminación, se dice que el lactato se acumula. Los estudios investigativos, especialmente durante el ejercicio, se centran en identificar condiciones que producen lactato y procesos que lo eliminan.

En general, los ritmos de actividad glicolítica y oxidativa determinan la producción de lactato. Específicamente cinco factores juegan un rol importante: contracción muscular, actividad enzimática, tipos de fibras musculares, activación del sistema nervioso simpático e insuficiencia de oxígeno (Hall, Rajasekaran, Thomsen, & Peterson, 2016). Aunque el ácido láctico está asociado con el ejercicio de alta intensidad de corta duración, ésta no es la única condición de ejercicio que resulta en la producción de lactato. Aunque la falta de oxígeno puede contribuir a la producción de ácido láctico, la presencia de lactato no indica de manera definitiva la falta de oxígeno (Faude et al., 2009). Por lo tanto, la glicólisis anaeróbica, con respecto a las dinámicas del lactato, parece ser un proceso permanente en el organismo, aún en el individuo en reposo (Maekawa, Minehira, Kadomatsu, & Pellerin, 2008); aunque la glicólisis anaeróbica está altamente relacionada al índice metabólico, no necesariamente está determinada por la disponibilidad de oxígeno (Faude et al., 2009). La presencia de lactato simplemente indica el uso de la vía anaeróbica glicolítica para la producción de ATP y el balance entre la actividad glicolítica y

mitocondrial. En lugar de que el LS se considere un producto de desecho, éste provee un medio de coordinar el metabolismo del carbohidrato en varios tejidos (Brooks, 2009). La formación, distribución y utilización del lactato es una forma de movilizar las reservas de glicógeno para ser utilizadas en el músculo y otras células. En el proceso la glucosa sanguínea se guarda para ser utilizada por otros tejidos (Brooks, 2009). La eliminación de lactato ocurre principalmente por tres procesos: oxidación, gliconeogénesis y transaminación. Los tres procesos involucran el transporte de lactato dentro o entre las células.

Por lo dicho anteriormente, el lactato no aparenta ser un producto de desecho del metabolismo anaeróbico, sino un combustible importante y una molécula de señalización que se forma y utiliza de manera continua aún bajo condiciones completamente aeróbicas (Brooks, 2009). Niveles elevados de LS han mostrado disminuir el uso de glucosa y ácidos grasos libres como sustratos energéticos (Brooks, 2009). En ciertas condiciones, el LS puede ser la fuente de energía preferida en comparación de la glucosa (Van Hall, 2010). El consumo de lactato depende de los gradientes de concentración y no está limitado al transporte, como lo es la glucosa insulino dependiente (Hall, Rajasekaran, Thomsen, & Peterson, 2016). Por la alta capacidad oxidativa del lactato, la conversión de lactato a piruvato parece no tener limitaciones (Van Hall, 2010), por lo tanto, el lactato puede ser utilizado como una fuente de combustible rápida y eficiente.

Los niveles de lactato en respuesta al ejercicio dependen principalmente de la intensidad (Thomas, 2012). En el ámbito deportivo, uno de los fenómenos que más se hace referencia es a la curva de lactato, la cual es una expresión gráfica de contrastar la concentración de LS contra la intensidad del ejercicio en una prueba incremental (Faude et al., 2009). En este tipo de pruebas, donde se va aumentando la intensidad del ejercicio en periodos establecidos de tiempo y subsecuentemente se van tomando mediciones de LS, se ha notado que los niveles de LS aumentan de manera lineal en las primeras etapas para aumentar de manera exponencial a partir de un punto de quiebre determinado (Faude et al., 2009; Tiidus & Tupling, 2012). Para entender la cinética del lactato en la prueba incremental, hay que clarificar los

conceptos de umbrales de lactato. Lo que se determina como el primer umbral de lactato es cuando los niveles de LS comienza a aumentar por encima de los valores en reposo (Hall et al., 2016). Este punto también se conoce como umbral aeróbico e inicio de la acumulación de LS. A partir de ese punto, el aumento de la intensidad del ejercicio provoca la acumulación de LS y este se incrementa de manera lineal. Al seguir aumentando la intensidad del ejercicio, el punto donde la elevación de la concentración de LS aumenta de manera exponencial se le conoce como segundo umbral de lactato o máximo estado estable de lactato (Faude et al., 2009; Hall et al., 2016), una curva típica de LS se puede apreciar en la figura 3.

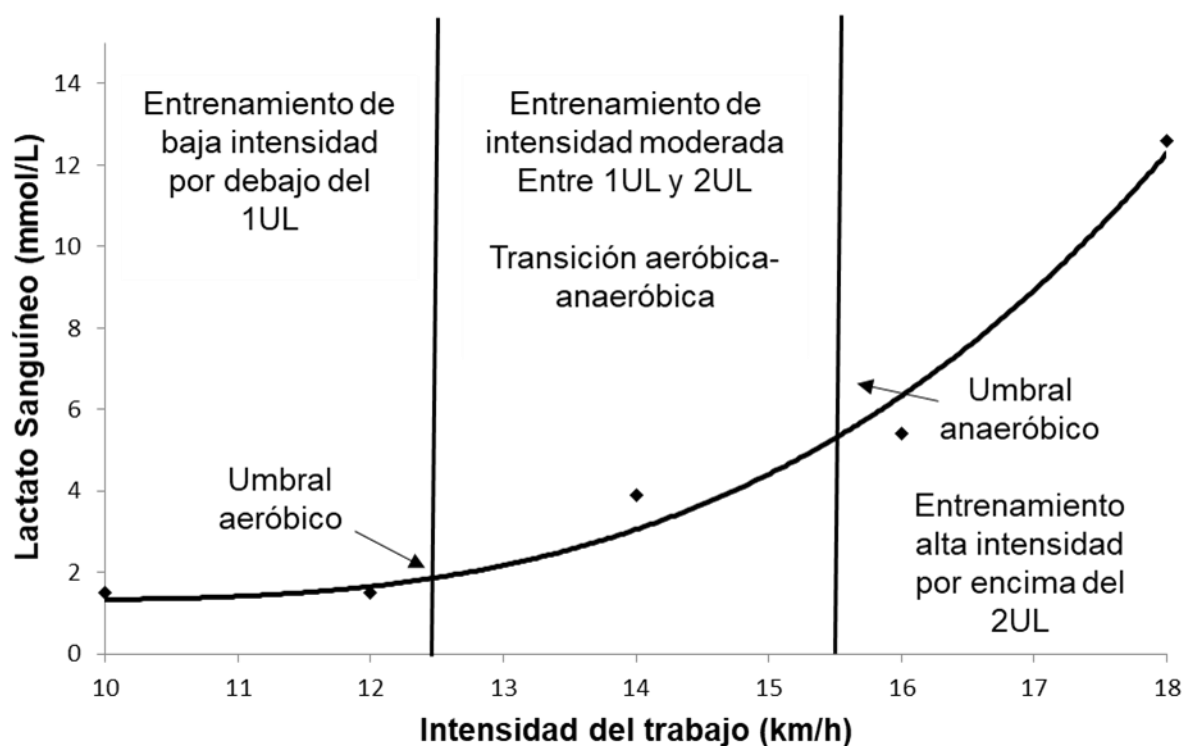


Figura 3. Gráfica típica de la relación “lactato-intensidad de trabajo” incluyendo la transición aeróbica-anaeróbica como un marco de referencia para derivar las intensidades de entrenamiento de resistencia para las diferentes zonas (Imagen de autoría propia).

Los umbrales de lactato pueden identificarse en la gráfica por medio de una inspección visual, contrastando la concentración de LS contra la CE, mientras que otros identifican los umbrales por medio de logaritmos de cada medición interceptando la pendiente de las primeras mediciones y la pendiente de las últimas (De Sousa et al., 2011). Otros investigadores definen los umbrales por medio de mediciones fijas de concentración de LS, como son 2 mmol/l para el primer umbral y 4 mmol/l para el segundo (Seiler & Kjerland, 2006). Otro método para determinar los umbrales de lactato propuesto por Cheng et al. (1992) describe el procedimiento mediante el método Dmax. Se traza la curva de lactato, luego la curva se ajusta con método polinómico de tercer orden de cuadrados mínimos. Se traza la línea secante que conecta los puntos correspondientes al lactato en las cargas de trabajo más bajas con los datos del lactato de las cargas de trabajo más altas. Finalmente, el punto en la curva de tercer orden más alejado de la línea secante se identifica como el umbral del lactato.

Los umbrales de lactato pueden predecir el desempeño de un atleta cuando se compara la CE a la cual se producen estos umbrales (Hall et al., 2016). En corredores recreacionales, el $VO_2\text{max}$ por sí solo no es un predictor confiable del desempeño en carrera, pero el valor de VO_2 y la velocidad de carrera en el segundo umbral son fuertes predictores del desempeño (Beneke, Leithäuser, & Ochentel, 2011). Sin embargo, este no es el caso en corredores de alto rendimiento, donde el valor de $VO_2\text{max}$ es un buen predictor del desempeño de una manera más adecuada que contrastando los umbrales de lactato (Stöggl & Sperlich, 2014). Se ha observado que ciclistas profesionales tienen mejor desempeño en competencia a pesar de no presentar diferencias significativas en valores de $VO_2\text{max}$ con ciclistas amateurs (Esteve-lanao, Foster, Seiler, & Lucia, 2007). Esto se puede explicar por la alta capacidad de los ciclistas profesionales de tolerar altas concentraciones de lactato produciendo altas salidas de potencia, ya que tienen alta capacidad de utilizar el lactato como combustible para producir energía (Hall et al., 2016).

El concepto de umbral de lactato cobra gran importancia para el diagnóstico y la predicción del desempeño de resistencia aeróbica. El concepto de la transición aeróbica-anaeróbica puede servir como un medio razonable para el diagnóstico del rendimiento y la prescripción de la intensidad en deportes de resistencia (Faude et al., 2009). Umbrales fisiológicos basados en concentraciones de LS (UL1, UL2) o el primer y segundo umbral ventilatorio (UV1, UV2) han sido utilizados como marcadores fisiológicos para definir las zonas de intensidad de entrenamiento, estos marcadores fisiológicos pueden ser utilizados para establecer zonas individuales específicas. (Lucia, Hoyos, Santalla, Earnest, & Chicharro, 2003; Seiler & Kjerland, 2006). La investigación experimental indica que una distribución polarizada con una gran base de entrenamiento de resistencia en la zona 1 combinada con entrenamiento en la zona 3 es óptima para las adaptaciones de resistencia (Esteve-lanao et al., 2007; Stöggl & Sperlich, 2014). Esto parece reflejarse en el tipo de entrenamiento ejecutado por atletas de resistencia, tanto elite como recreacionales, quienes parecen entrenar con una distribución de intensidad que consiste en 80% de la sesión ejecutada en la zona 1 y el 20% restante en la zona 2 y 3 (Muñoz, Cejuela, Seiler, Larumbe, & Esteve-lanao, 2014; Seiler, 2010). Investigaciones previas han indicado la importancia de una gran base de entrenamiento en zona 1 en atletas de resistencia (Stöggl & Sperlich, 2015). Existe una relación positiva entre el tiempo transcurrido en la zona 1 y las ganancias en desempeño (Esteve-lanao et al., 2007).

TRIMP

El comportamiento del LS en una prueba incremental dio pie a que investigadores utilizaran este marcador para ponderar la intensidad del ejercicio en métodos de cuantificación de estímulo de entrenamiento, es decir el TRIMP (Morton et al., 1990). Por la subjetividad de los métodos de encuestas o escalas de cuantificación de CI se recomienda complementar estas mediciones con métodos objetivos basados en marcadores fisiológicos (Bara Filho et al., 2013). Los métodos fisiológicos utilizan parámetros como FC, consumo de oxígeno, lactato, potencia crítica (Jones, Vanhatalo, Burnley, Morton, & Poole, 2010). A pesar de haber una amplia gama de marcadores que se pueden utilizar, el TRIMP se destaca como uno

de los métodos fisiológicos más utilizado en el ámbito del deporte (Akubat & Abt, 2011; Alexiou & Coutts, 2008; Borresen & Lambert, 2008).

Tanto la CE como la CI tienen mérito para entender la carga de entrenamiento y adaptaciones de un atleta. Una combinación de ambas puede ser importante para el monitoreo del entrenamiento y predicción del desempeño (Borresen & Lambert, 2008; Halson, 2014; Mujika, 2017). Según Mujika (2017) fue hace 40 años que Banister y colaboradores propusieron un sistema matemático de modelar los efectos del entrenamiento y estudiar las respuestas del atleta. Para comprender las fluctuaciones en los aumentos y disminuciones del desempeño deportivo durante el tiempo en que el atleta es sometido a periodos de alta carga de entrenamiento, separados por periodos de descanso relativo, el modelo matemático estima los perfiles de fitness y fatiga generados por un TRIMP que se puede calcular a partir de los componentes del entrenamiento (Morton et al., 1990). De acuerdo a este modelo en cualquier momento del proceso se puede estimar el nivel de desempeño de un atleta por la diferencia entre la función negativa (fatiga) y la función positiva (*fitness*) que resultan de cada dosis de entrenamiento y por su acumulación. El estímulo de entrenamiento se cuantifica a través del volumen y la intensidad del entrenamiento. Los indicadores de *fitness* y fatiga se describen como las influencias negativas y positivas del desempeño deportivo (Busso & Thomas, 2006).

Bajo el esquema de *fitness-fatiga* es importante poder cuantificar la magnitud del TRIMP al que se someten los deportistas para determinar el efecto en estos componentes. Con este fin, Banister (1991) propuso un método de valoración del TRIMP basado en el promedio de frecuencia cardiaca de reserva (FCres) y la duración de la sesión. El producto de estos factores es ponderado por una predicción de concentración de LS dada por una ecuación, la cual es diferente de acuerdo al género de los sujetos. De esta manera se ponderan los componentes de volumen e intensidad de la carga con un solo número en unidades arbitrarias. Este método está fundamentado en varios conceptos. El primero es la noción generalmente aceptada de la relación lineal entre el aumento de la FC y la CE en una prueba incremental (Lucia et al., 2003). Este principio sugiere que los valores de FC cardiaca pueden ser

un indicador claro de la cantidad de trabajo que está realizando el deportista. Sin embargo, debemos considerar que utilizar valores de FC absolutos puede ser engañoso, ya que los valores de FC en reposo dependen del estado de preparación del deportista. De igual manera, la FC máxima que puede presentar un individuo parece estar influenciada por la edad y otros factores (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001). Bajo estos conceptos, es necesario considerar los valores de FC máximos y mínimos para evaluar los valores observados durante el ejercicio. Al rango entre la FC máxima y la FC mínima se le conoce como FCres. A la proporción que existe en los valores observados durante el ejercicio y la FCres se le conoce como porcentaje de la FCres (%FCres). Para calcular el aporte del volumen de entrenamiento al TRIMP se multiplica el promedio del %FCres de la sesión por la duración del ejercicio en minutos (Morton et al., 1990).

El segundo concepto considerado es la relación exponencial del LS y la FCres en una prueba incremental. Este comportamiento refleja la respuesta del metabolismo anaeróbico a la intensidad del ejercicio. Un aumento de la concentración de LS significa una mayor participación de glicólisis anaeróbica en los procesos metabólicos de obtención de energía (Faude et al., 2009). Por lo tanto, al analizar el comportamiento de la curva de LS en una prueba incremental podemos estimar las contribuciones aeróbicas y anaeróbicas a la producción de energía para el ejercicio. Esto es importante, ya que una mayor proporción de aporte anaeróbico al ejercicio está asociado con un aumento en el ritmo de acumulación de fatiga. Por lo tanto, para evitar darle una importancia desproporcionada a la actividad de larga duración realizada a un bajo %FCres comparada con actividades intensas pero de corta duración, se calcula un factor de ponderación (y) que refleje la intensidad del esfuerzo. Este factor de ponderación se basa en el aumento exponencial de la concentración de LS con el esfuerzo incremental. Banister calculó este factor de ponderación con una población de corredores recreacionales y estimó dos ecuaciones, una para hombres y otra para mujeres:

$$\text{Hombres. } y = 0.64 e^{1.92x}$$

$$\text{Mujeres. } y = 0.86 e^{1.67x}$$

Dónde:

e = base del logaritmo Neperiano (2.712).

La ecuación completa entonces de la cuantificación del TRIMP según Banister sería:

$$TRIMP (U.A.) = \%FCres * D * y$$

Dónde:

$\%FCres$ = Promedio del porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva de la sesión.

D = Duración de la sesión en minutos.

y = Factor de ponderación.

Aunque la metodología del Banister para la evaluación de la magnitud del TRIMP sigue siendo popular tanto en ámbitos deportivos como de investigación, este método tiene limitaciones. El hecho de que se utilice el promedio del $\%FCres$ puede ser adecuado para deportes de carga continua, sin embargo, si se quiere evaluar entrenamiento de carácter intermitente de alta intensidad, bajo este método se considerarían equivalentes entrenamientos de carga continua de intensidad media y entrenamientos de carga intermitente de alta intensidad que tuvieran el mismo promedio de $\%FCres$. Por lo anterior, se considera que la metodología de Banister para cuantificar el TRIMP no es adecuada para entrenamientos por intervalos (García-Ramos et al., 2014) o actividades de carácter intermitente (Buchheit et al., 2013).

Hace algunas décadas, el uso de monitores de FC estaba restringido únicamente a ambientes de laboratorio, ya que se consideraba un equipo sofisticado y costoso. Los avances tecnológicos han permitido que los monitores de frecuencia cardiaca sean accesibles al público en general y en particular a los entrenadores y deportistas, lo que ha popularizado el uso de metodologías basadas en FC para el monitoreo de CI (Buchheit, 2014). Uno de los dispositivos más utilizados en el ámbito del deporte y la investigación es el monitor de FC marca Polar (Polar electro Oy, Kempele, Finlandia). Este sistema utiliza un método de cuantificación de TRIMP

propuesto por Edwards (1994) denominado “Sumatoria de zonas de FC” (*Summated Heart Rate Zones*, [SHRZ]). La popularidad de estos equipos ha hecho que el método SHRZ de TRIMP sea uno de los más utilizados en campo y más referenciado en estudios recientes (Alexiou & Coutts, 2008; Bara Filho et al., 2013). El método de SHRZ clasifica los valores de FC en zonas compuestas por diez puntos porcentuales de la FCmax. El tiempo en minutos que el deportista transcurre en cada zona es multiplicado por un coeficiente de ponderación arbitrario determinado como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.
Zonas de FC de Edwards (1994).

Zonas de FC	Coeficiente de ponderación
90% - 100%	5
80% - 90%	4
70% - 80%	3
60% - 70%	2
50% - 60%	1

Nota. FC = Frecuencia cardiaca.

Esta modificación al método de TRIMP de Banister tiene el propósito de calcular el estímulo del entrenamiento por intervalos e incluso de carácter intermitente (Borresen & Lambert, 2009). Sin embargo, el autor no proporciona una fundamentación fisiológica para establecer las zonas de %FCmax. De igual manera, los coeficientes de ponderación también carecen fundamento fisiológico, ya que no se hace referencia a ningún estudio en el que se haya comprobado un minuto en la zona más alta signifique un efecto fisiológico cinco veces mayor que un minuto en la zona más baja (Akubat, Patel, Barrett, & Abt, 2012).

Más allá, la limitante más importante que se observa en el método SHRZ es que el coeficiente de ponderación se aplica a una zona que comprende un amplio rango de valores de FC. Todo el rango de valores en cada zona tendrán la misma ponderación, a pesar de una diferencia en el efecto fisiológico (Borresen & Lambert, 2009). Esta condición puede sub-estimar o sobre-estimar el valor de estímulo de entrenamiento calculado. De igual manera, se ha demostrado que un factor de ponderación lineal no representa las respuestas fisiológicas a la intensidad

incremental y que estas respuestas son mejor representadas por un factor de ponderación que aumenta de forma exponencial (Faude et al., 2009).

A pesar de las limitantes que se pueden identificar en el método SHRZ, éste ha mostrado tener relación altamente significativa ($r = .61$, $p < .01$) con valores de CE medida con acelerómetro triaxial en jugadores de baloncesto, lo que sugiere que puede reflejar de manera adecuada la CI de deportes intermitentes (Scanlan, Dascombe & Reaburn, 2011). También se ha observado que el método SHRZ tiene un alto coeficiente de correlación ($r = .98$, $p < .01$) con el de Banister, pero no alta concordancia, ya que el método de Banister tiende a arrojar valores hasta 9% menores (Scott et al., 2013). Existen algunos estudios que examinan la relación entre los métodos SHRZ y esfuerzo percibido de Foster en diferentes escenarios deportivos; se ha encontrado que existe correlación significativa ($r = .67$, $p < .05$) en jugadores de voleibol (Bara Filho et al., 2013), también ($r = .64$, $p < .01$) en practicantes de taekwondo (Perandini, Siqueira-Pereira, Okuno, Soares-caldeira, & Nakamura, 2012) y alta correlación ($r = .85$, $p < .01$) en jugadores de baloncesto profesional (Manzi et al., 2010). También ha sido utilizado para comparar de manera exitosa respuestas fisiológicas entre diferentes modalidades de juego en fútbol soccer (Owen, Wong, McKenna, & Dellal, 2011).

Para comparar las demandas fisiológicas impuestas por dos diferentes eventos de ciclismo, Lucía et al. (2003) propusieron la cuantificación de TRIMP con base a umbrales ventilatorios. Se basa en la cinética de la respuesta del consumo de oxígeno (VO_2) durante el ejercicio. En una prueba incremental, donde la intensidad se aumenta de manera progresiva, encontramos una relación lineal entre el VO_2 y la intensidad del ejercicio en las primeras etapas para posteriormente estacionarse y mostrar una meseta, este punto se conoce como la capacidad de máximo consumo de oxígeno o $\text{VO}_{2\text{max}}$. A las intensidades donde el VO_2 presenta una relación lineal se le conocen como sub-máximas. Al analizar la cinética del intercambio de gases en esta prueba incremental se pueden identificar claramente dos momentos, denominados umbral ventilatorio uno (UV1) y umbral ventilatorio dos (UV2). El UV1 se define como el momento donde se observa un aumento en el equivalente

ventilatorio de VO_2 y un aumento de la presión parcial de oxígeno en el volumen corriente sin que exista un aumento en el equivalente ventilatorio de producción de CO_2 . El UV2 se define utilizando el criterio de un aumento en ambos valores de equivalente ventilatorio de VO_2 y producción de CO_2 , además de una disminución de la presión parcial de oxígeno en el volumen corriente (Lucia et al., 2003).

Para establecer el método de cuantificación del TRIMP de Lucia et al. (2003) se definieron tres fases de intensidad del ejercicio denominados bajo, moderado y alto, de acuerdo a la referencia de valores de FC correspondientes a los dos umbrales ventilatorios obtenidos a través de una prueba incremental. A cada fase se les asignó un coeficiente de 1, 2 y 3 respectivamente (Tabla 4). La cuantificación del TRIMP se realiza multiplicando el tiempo en minutos transcurridos en cada zona por el coeficiente de ponderación. A diferencia del método SHRZ, las zonas de FC del método de Lucia et al. (2003) están fundamentadas fisiológicamente, ya que la fase I (intensidad baja) corresponde a los valores por debajo del primer umbral ventilatorio ($<70\% \text{VO}_{2\text{max}}$), la fase II (intensidad moderada) corresponde a los valores intermedios del umbral ventilatorio y el punto de compensación (entre el 70% y el $90\% \text{VO}_{2\text{max}}$), y la fase III, (intensidad alta) por encima del punto de compensación ($>90\%$ del $\text{VO}_{2\text{max}}$).

Seiler y Kjerland (2006) revisaron el concepto de entrenamiento en los umbrales propuestos por Lucia y propusieron clasificar la FC en tres zonas de entrenamiento con base a la producción de LS. Ellos encontraron que la primer zona de entrenamiento, denominada de bajo lactato (intensidad baja), corresponde a la FC donde la producción de LS es $< 2\text{mmol/l}$; la segunda zona, denominada de acomodación de lactato (intensidad moderada), tiene un límite inferior en 2 mmol/l y un límite superior en los valores de máximo estado estable de lactato (*maximal lactate steady state*, [MLSS]) de 4mmol/l ; la tercer zona, denominada de acumulación de lactato (intensidad alta), corresponde a la FC con un valor de LS $> 4\text{mmo/l}$. Podemos observar una coincidencia entre los valores de FC observados en los umbrales ventilatorios y de LS propuestos por ambos métodos.

Tabla 4.

Zonas de intensidad en umbrales ventilatorios de Lucia et al. (2003) y umbrales de lactato de Seiler y Kjerland (2006).

Umbral ventilatorio	Umbral de Lactato	Coeficiente de ponderación
<70% VO ₂ max	<2 mmol/l	1
70% - 90% VO ₂ max	2 mmol/l - 4mmol/l	2
>90% del VO ₂ max	>4 mmol/l	3

La limitante de los métodos de TRIMP de Lucia et al. (2003) y Seiler y Kjerland (2006) es que los coeficientes de ponderación han sido asignados de manera arbitraria mostrando un aumento lineal, lo que no corresponde a una respuesta fisiológica al ejercicio (Faude et al., 2009). Este método considera que el tiempo transcurrido en la tercera fase tiene un impacto fisiológico tres veces mayor que el tiempo transcurrido en la primera fase sin dar una justificación válida para asignar estos valores (Borresen & Lambert, 2009). Sin embargo, en la literatura se ha reportado conveniencia al utilizar umbrales ventilatorios para la valoración del entrenamiento de carga continua en periodización polarizada (Algrøy, Hetlelid, Seiler, & Pedersen, 2011; Esteve-Ianao, Foster, Seiler, & Lucia, 2007; Guellich, Seiler, & Emrich, 2009; Seiler & Kjerland, 2006). Incluso, se ha sugerido que el tiempo de entrenamiento transcurrido en estas zonas tiene una relación significativa con la recuperación del balance del sistema nervioso autónomo (SNA), mostrando un alto ritmo de recuperación cuando se entrena por debajo del UV1 creando un efecto de terapia de recuperación, por el contrario, entrenar por encima del UV2 produce un retraso en la recuperación del SNA, posiblemente explicado por reflejo metabólico producido por el entrenamiento de alta intensidad (Seiler, Haugen, & Kuffel, 2007).

Debido a la naturaleza intermitente de los deportes de conjunto con periodos de actividad que varían tanto en intensidad como en duración de manera aleatoria durante un partido, Stagno, Thatcher y Van Someren (2007) hicieron modificaciones al TRIMP de Banister dividiendo los valores de FC en cinco zonas basadas en el comportamiento de la acumulación del LS promedio en jugadores de Hockey. Tomando en cuenta que la curva de producción de LS en una prueba incremental tiende a recorrerse a la derecha si el deportista tiene mayor condición física y se recorre a la izquierda si presenta bajos niveles de acondicionamiento, se piensa que

la fórmula genérica de factor de ponderación de Banister para valorar la intensidad no puede aplicarse de manera universal (Stagno et al., 2007). Para resolver este problema asignaron un coeficiente de ponderación con base a los valores promedio de LS del equipo manifestados en una prueba de esfuerzo incremental como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.
Zonas de FC de Stagno et al. (2007).

Zona	Valores de FC de reserva		Factor de ponderación
5	93-100	Máxima	5.16
4	86-92	OBLA	3.61
3	79-85	Estable	2.54
2	72-78	Primer umbral de lactato	1.71
1	65-71	Moderada	1.25

OBLA = *Onset of Blood Lactate Accumulation*, Inicio de la acumulación de lactato sanguíneo.

Las zonas 2 y 4 fueron fijadas en los valores de 1.5 mmol/l y 4 mmol/l (Inicio de la acumulación de lactato sanguíneo, *Onset of Blood Lactate Accumulation* [OBLA]). Estos dos valores fueron considerados como los valores de FC que representan los puntos de quiebre de una respuesta típica de LS al esfuerzo incremental. El resto de las zonas fueron establecidas con un ancho de 7 puntos porcentuales de la FCres y se fijaron las zonas 1, 3 y 5 alrededor de las zonas 2 y 4. De la ecuación que representa la curva exponencial del LS observado durante la prueba aplicada se derivaron factores de ponderación para cada una de las zonas de la siguiente manera:

$$\text{Factor de ponderación} = 0.1225 e^{3.9434x}$$

Dónde:

e = Logaritmo natural Neperiano con valor de 2.712

x = Media de la elevación fraccional del %FCres en cada zona.

Aunque los factores de ponderación de la intensidad propuestos por Stagno et al. (2007) están fundamentados en el perfil de LS real de sus jugadores y es un reflejo fiel de su capacidad de rendimiento, éstos sólo son válidos para los sujetos

que participaron en el estudio y no se pueden generalizar a otras poblaciones, ya que representan el promedio del equipo y no necesariamente de cualquier otro deportista individual o cualquier otro equipo. El método de cuantificación de TRIMP propuesto por Stagno et al. (2007) puede ser una alternativa adecuada cuando se tiene que trabajar en deportes de conjunto y se puedan promediar valores de múltiples jugadores. Por otra parte, al igual que el método de SHRZ, el utilizar zonas de entrenamiento conlleva la limitante inherente de que el TRIMP puede estar subestimado o sobrestimado cuando los valores se acercan a los límites de las zonas de entrenamiento.

Para superar las limitaciones de utilizar zonas de entrenamiento y obtener factores de ponderación de intensidad que reflejen la capacidad de rendimiento del deportista Manzi et al. (2009) propusieron un método de cuantificar la CI denominado TRIMP individualizado (iTRIMP). A diferencia del método de cuantificación de TRIMP de Banister, que utiliza un factor de ponderación que se calcula utilizando dos constantes en la ecuación, el iTRIMP considera un factor de ponderación individual para cada sujeto. El factor de ponderación individual reflejará el perfil de una curva de respuesta típica de LS de la prueba de esfuerzo incremental (Manzi, Castagna, et al., 2009; Manzi, Iellamo, et al., 2009). Se calculan los valores de la base y el exponente del factor de ponderación para cada sujeto utilizando un modelo exponencial. El iTRIMP se podrá calcular en cualquier momento como el área bajo la curva representada por la pseudo-integral de todos los puntos de FCres. Por lo anterior, con esto se calcula el TRIMP generado por cada uno de los valores de FC observados dependiendo del ritmo de muestreo del monitor de FC. Una vez calculados los TRIMPs de cada valor de FC observado estos se suman para tener una evaluación completa, tanto de la intensidad, como del volumen de entrenamiento, ya sea la actividad de naturaleza continua o intermitente.

El método de iTRIMP se ha utilizado en corredores de distancia recreacionales y se encontró que está significativamente relacionado ($r = .77$, $p < .02$) con el desempeño en competencia en carreras de 5,000 y 10,000 m, por lo que se piensa que puede ser un buen predictor del desempeño (Manzi, et al., 2009). De igual

manera se estableció la relación del iTRIMP y variables de rendimiento físico en jugadores de fútbol soccer de liga premier, se observó una alta asociación ($r = .77$, $p < .01$) entre valores de iTRIMP y porcentajes de cambio en el VO_2max , por lo que se considera que el iTRIMP es una herramienta válida para la prescripción de entrenamiento en deportes de equipo (Manzi, Bovenzi, Impellizzeri, Carminati, & Castagna, 2013). Otro estudio encontró una relación significativa ($r = .67$, $p < .01$) entre el iTRIMP y la mejora en la velocidad en UV2 (Akubat et al., 2012) y la velocidad en OBLA (Akubat, Barrett, & Abt, 2014) en jugadores de fútbol soccer. En jugadores profesionales de baloncesto, considerado como un deporte de carácter intermitente de alta intensidad, el método de iTRIMP fue utilizado para elaborar un perfil de carga de entrenamiento semanal, lo que permite la detección de patrones de periodización de planificación semanal en deportes intermitentes (Manzi et al., 2010). Al igual que los umbrales ventilatorios, también se ha estudiado la asociación entre el iTRIMP y las respuestas del SNA, encontrándose una relación significativa ($r = .90$, $p < .01$) entre el iTRIMP con variables que representan el sistema parasimpático (Manzi, et al., 2009). Aunque este método atiende las limitaciones de los otros métodos de cuantificación del TRIMP, implementarlo representa dificultades prácticas, especialmente en deportes de equipo, ya que se necesita que cada jugador se someta a una prueba invasiva de esfuerzo incremental, que requiere de amplia experiencia del aplicador y representa costos que pueden considerarse elevados.

La validez de las mediciones de la carga de entrenamiento ha sido previamente evaluada al investigar la relación dosis-respuesta de la carga de entrenamiento cuantificada y los cambios en el acondicionamiento aeróbico o desempeño, dando evidencia de que algunos métodos son más adecuados para cuantificar carga de entrenamiento en un deporte específico (Manzi, Iellamo, et al., 2009; Sanders, Abt, Hesselink, Myers, & Akubat, 2017). Especialmente métodos que integran características fisiológicas individuales, como el iTRIMP, propuesto por Manzi (2009), el cual integra la relación individual del LS-FC para ponderar exponencialmente la intensidad del ejercicio y el estrés score del entrenamiento, el cual integra el umbral de potencia funcional individual, mostrando una alta validez de

dosis-respuesta (Sanders, Abt, et al., 2017). Diferencias potenciales en la relación dosis-respuesta entre carga de entrenamiento y resultado de entrenamiento pueden ser explicadas por las diferencias observadas en las mediciones de la intensidad del ejercicio (Sanders, Myers, & Akubat, 2017). Recientemente, un estudio ha sugerido utilizar métodos de cuantificación de la carga del ejercicio que integren características fisiológicas individuales ya que muestran la validez dosis-respuesta más alta con los cambios en acondicionamiento y desempeño en ciclistas competitivos (Sanders, Abt, et al., 2017). Las relaciones más fuertes de dosis-respuesta se observaron con mediciones de carga de entrenamiento individualizadas, esto apoya el uso de métodos de carga de entrenamiento que integren características fisiológicas individuales en lugar de intensidad media de ejercicio o factores arbitrarios de ponderación (Sanders, Abt, et al., 2017).

Rodríguez-Marroyo et al. (2012) compararon la carga de entrenamiento cuantificada por el TRIMP de Lucia et al. (2003) y el sRPE analizando los datos de ciclistas profesionales durante tres semanas de un tour. Mostraron una pendiente incremental en la relación entre el sRPE y el TRIMP de Lucia durante las últimas semanas del tour. Esto es, por los mismo valores de TRIMP, en la semana tres del tour la carga del sRPE será substancialmente más alta comparada con la semana uno. Reducciones en la FC debido a la fatiga acumulada puede ser causada por una disminuida sensibilidad a las catecolaminas y un agotamiento de las glándulas adrenal y testicular, que en ocasiones previas ha sido evidente al final de tres semanas de un tour (Sanders, Heijboer, Hesselink, Myers, & Akubat, 2017). Por lo tanto, en situaciones donde el patrón de FC puede ser afectado por la fatiga acumulada, la integración de los datos de FC y RPE pueden proveer información adicional sobre el estado de fatiga del ciclista (Halsen, 2014). Esto es, la misma intensidad en un estado de fatiga puede potencialmente ser percibida como más difícil, causando un incremento en el índice de RPE:FC comparado con un estado de no fatiga. Se ha comprobado que el índice de sRPE:iTRIMP es más sensible para detectar acumulación de fatiga en atletas durante el periodo de entrenamiento (Sanders, Heijboer, et al., 2017).

La adaptación al entrenamiento acumulado tiene carácter individualizado y se relaciona a la magnitud de la carga de entrenamiento prescrita. Como resultado, la cuantificación de la respuesta individual de una carga de entrenamiento prescrita es vital para perfilar las respuestas adaptativas relacionadas al entrenamiento (Akubat et al., 2014). Recientemente, ha sido de interés de los investigadores examinar las respuestas individualizadas al entrenamiento utilizando métodos basados en FC. Manzi et al. (2009) han mostrado que un acercamiento completamente individualizado a la carga de entrenamiento utilizando el iTRIMP es posible rastrear de manera precisa mejoras de acondicionamiento durante sesiones de entrenamiento aeróbico dentro de atletas de resistencia. Los resultados reportados muestran que después de un periodo de ocho semanas de entrenamiento para atletas de resistencia, el iTRIMP promedio semanal correlacionó significativamente con los cambios en la velocidad en los umbrales de lactato y la velocidad en OBLA. El iTRIMP promedio semanal también mostró correlación significativa con cambios en desempeño de carrera.

El potencial para respuestas de entrenamiento diferenciadas para entrenamientos basados en forma grupal puede presentar retos. Es bien conocida la importancia de la individualización del entrenamiento, la cual es considerada como favorable para el desarrollo óptimo del desempeño en deportes basados de equipo (Akubat et al., 2012; Stagno et al., 2007). La individualización del entrenamiento dentro de deportes de equipo es requerida dado el desempeño de carrera específico de la posición, respuestas de entrenamiento inter-individuales y demandas fisiológicas posicionales del juego en partido. Stagno et al. (2007) examinaron el perfil adaptativo de jugadores elite de hockey sobre pasto usando una aproximación semi-individualizada de carga de entrenamiento. Los resultados del estudio proveen evidencia de la existencia de una relación dosis-respuesta entre la CI y variables aeróbicas de acondicionamiento con relaciones establecidas entre el cambio en VO₂max y vOBLA. Estos hallazgos fueron validados por Manzi et al. (2013) y Akubat et al. (2012) quienes reportaron respuestas similares cuando utilizaron un acercamiento de TRIMP completamente individualizado dentro de jugadores elite de

futbol soccer. El iTRIMP semanal promedio fue correlacionado con cambios en VO₂max, velocidad en umbral ventilatorio y desempeño en la prueba Yo-Yo y vUL en jugadores de futbol soccer. A pesar del interés de precisar un perfil de respuestas individuales a la prescripción del ejercicio solo dos estudios han sido conducidos utilizando un acercamiento completamente individualizado en deportes de equipo.

Akubat y Abt han cuestionado si la concentración de LS observada es una verdadera representación del estrés fisiológico general impuesto en el atleta (Akubat & Abt, 2011). Previamente autores han sugerido que la intensidad del ejercicio y el estrés fisiológico se incrementan de manera lineal similar al incremento observado en la concentración de LS durante el ejercicio, sin embargo, esto ha sido cuestionado por otros autores (Norton, Norton, & Sadgrove, 2010). Se ha reportado una grande asociación entre el iTRIMP semanal y el porcentaje de cambios en variables fisiológicas aeróbicas (VO₂max), además, se fortalece la postura de apoyar un acercamiento de carga de entrenamiento totalmente individualizada, ya que el estudio fue de tipo longitudinal y la intervención fue con jugadores de un deporte de equipo (Malone & Collins, 2016).

Recientemente se ha estudiado el TRIMP de Banister (Aoki et al., 2016; Sanders, Abt, et al., 2017; Taylor et al., 2017), TRIMP de Edwards (Aoki et al., 2016; Campos-Vazquez, Toscano-Bendala, Mora-Ferrera, & Suarez-Arrones, 2017; Kelly, Strudwick, Atkinson, Drust, & Gregson, 2016; Sanders, Abt, et al., 2017; Schumann, Botella, Karavirta, & Häkkinen, 2016; Taylor et al., 2017) iTRIMP (Malone & Collins, 2016; Sanders, Abt, et al., 2017; Sanders, Heijboer, et al., 2017; Taylor et al., 2017; Weaving et al., 2017). También se ha incluido al análisis de la relación entre estos tres tipos de métodos de TRIMP en un mismo estudio (Sanders, Abt, et al., 2017; Taylor et al., 2017). Aunque hay estudios que se han realizado en deportes de carga continua (Sanders, Abt, et al., 2017; Sanders, Heijboer, et al., 2017; Sanders, Myers, et al., 2017; Schumann et al., 2016), existen varios estudios que se han encargado de revisar las respuestas internas por medio de métodos de TRIMP en deportes intermitentes (Aoki et al., 2016; Campos-Vazquez et al., 2017; Kelly et al., 2016; Malone & Collins, 2016; Taylor et al., 2017; Weaving et al., 2017).

Se ha observado que programas de entrenamiento basados en TRIMP de Edwards pueden generar mejoras en el desempeño en carrera en corredores de distancia recreacionales (Schumann et al., 2016). Sin embargo, se ha recomendado que los valores de TRIMP se combinen con métodos subjetivos y de CE, ya que se han observado diferencias entre los valores de sRPE y resultante de potencia en ciclistas de ruta (Sanders, Myers, et al., 2017). Cuando se ha comparado los métodos de Banister, Edwards e iTRIMP se ha encontrado que es más pertinente utilizar factores de ponderación individualizados en lugar de factores de ponderación arbitrarios, ya que los métodos individualizados presentan una mejor relación dosis-respuesta en ciclistas de alto rendimiento (Sanders, Abt, et al., 2017).

En el caso de deportes intermitentes, se ha propuesto el uso del TRIMP de Edwards en jugadores de baloncesto en combinación con el sRPE y métodos de CE (Aoki et al., 2016). En jugadores de futbol soccer se ha encontrado relación entre TRIMP de Edwards y sRPE al analizar entrenamiento técnico-tácticos (Kelly et al., 2016). También en jugadores de futbol soccer profesionales se propuso modificar el método de Edwards agregando un criterio de definición de zonas de entrenamiento en FCres en lugar de la FCmax (Campos-Vazquez et al., 2017). Sin embargo, este nuevo método no mostró relaciones significativas con mejoras en el rendimiento en la prueba de aptitud física intermitente 30-15. Lo cual fue confirmado por un estudio realizado en Rugby Union, donde tampoco encontraron relación entre el TRIMP de Edwards y cambios en el VO_{2max} (Taylor et al., 2017). Lo anterior sugiere que se debe tener cautela con el uso del TRIMP de Edwards en deportes intermitentes.

El iTRIMP se ha utilizado para analizar respuestas al entrenamiento en jugadores de Rugby profesionales, en donde muestra una adecuada capacidad de diferencias respuestas entre ejercicios de competencias simulada y juegos reducidos (Weaving et al., 2017). Este método además muestra buena relación con métodos de CE, cuando esta es convertida a un índice de carga por minuto (Weaving et al., 2017), lo que sugiere la conveniencia de utilizar este tipo de índices para analizar la relación de dosis respuesta entre CE e interna en jugadores de deportes de equipo. El iTRIMP ha mostrado un mayor tamaño de efecto en la explicación de la varianza

de los cambios en VO_2max en jugadores de Rugby con relación al TRIMP de Banister y Edwards (Taylor et al., 2017). Es recomendable utilizar factores de ponderación exponenciales para el cálculo de la CI, ya que reflejan de manera más fiel las respuestas fisiológicas a los cambios de intensidad del ejercicio (Taylor et al., 2017). Estos resultados se han confirmado en cargas de entrenamiento intermitente en jugadores de Hurling, ya que la dosificación de las cargas de entrenamiento prescritas mediante este método tienen una alta relación con las mejoras en las capacidades física y el rendimiento en competencia (Malone & Collins, 2016).

Aunque el iTRIMP es el método que muestra mejor relación dosis-respuesta, utilizarlo representa un alto costo económico, lo que limita su acceso a organizaciones que tengan recursos, personal capacitado e instalaciones de laboratorio (Campos-Vazquez et al., 2017). Por lo anterior en este estudio se propone la utilización de una nueva metodología de TRIMP modificado (mTRIMP). Para su cálculo, nos apegamos al procedimiento iTRIMP (Manzi, Castagna, et al., 2009) evitando el uso de zonas de entrenamiento, tomado en cuenta cada uno de los valores de FC registrados por el monitor a un ritmo de muestreo de 1 Hz y se convierten a valores de FCres, pero en lugar de multiplicar los valores de FCres por un coeficiente de ponderación individualizado, utilizamos el factor de ponderación genérico que refleja el comportamiento típico del LS en una prueba incremental propuesto por Banister (Morton et al., 1990), evitando el proceso de la aplicación de una prueba máxima de esfuerzo para determinar la curva de LS individual.

Variabilidad de la frecuencia cardiaca

El monitoreo de la VFC consiste en el registro de la variación de los intervalos de tiempo entre latidos del corazón (Intervalos R-R). Este registro de VFC es un método no invasivo que nos permite evaluar la interacción entre el sistema nervioso simpático y parasimpático, reflejando la capacidad de adaptación del corazón a condiciones fisiológicas cambiantes (Plews, Laursen, Stanley, Kilding, & Buchheit, 2013), por lo que puede ser una herramienta importante para diagnosticar estrés y acondicionamiento cardiovascular en atletas (Kiviniemi et al., 2010). Se reconocen

tres diferentes métodos de análisis de los índices de VFC: los dominios de tiempo, frecuencia y métodos no lineales (Task Force, 1996).

El análisis de dominios de tiempo comprende parámetros que reflejan la actividad parasimpática, estos son: SDNN, RMSSD, y pNN50 (Naranjo, De la Cruz, Sarabia, De Hoyo, & Dominguez, 2015). La SDNN (*standard deviation of all normal R-R*) corresponde a la desviación estándar de todos los intervalos R-R y refleja la variabilidad total. La RMSSD (*Square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent R-R intervals*) es la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R adyacentes y refleja la actividad parasimpática (Tian et al., 2015). El valor NN50 indica el número de intervalos N-N (*Normal to Normal*) sucesivos cuya diferencia es mayor a 50 ms. El pNN50 es la proporción derivada de dividir NN50 entre el total de intervalos N-N y está altamente correlacionada con la RMSSD (Task Force, 1996).

El análisis de los dominios de frecuencia de la VFC nos permite estimar las contribuciones de las ramas simpática y parasimpática del SNA. La modulación de baja frecuencia (BF, 0.04 – 0.15 Hz) de los cambios en los intervalos R-R representan la actividad simpática. La modulación de alta frecuencia (AF, 0.15 – 0.4 Hz) de los cambios en los intervalos R-R están regulados principalmente a través de la inervación del corazón por el nervio parasimpático (Chen et al., 2011; Saboul et al., 2015). Los indicadores de AF y BF de la VFC se han estudiado con la intención de proveer información sobre el efecto del entrenamiento sobre el organismo, para verificar que la carga de entrenamiento es lo suficientemente alta para generar el estrés fisiológico que provoque las adaptaciones de súper-compensación (Bosquet, Merkari, Arvisais, & Aubert, 2008; Tian et al., 2015). Sin embargo, estudios recientes sostienen que los marcadores espectrales de la VFC de AF, BF, Muy Baja Frecuencia (MBF) y la relación BF:AF no son adecuados para escenarios deportivos, ya que son afectados por la frecuencia respiratoria y son menos confiables en contextos de atletas bien entrenados (Saboul, Pialoux, & Hautier, 2013).

La tercera categoría de índices no lineales de VFC consiste en analizar la forma de la gráfica de dispersión de Poincaré (Figura 4), ya que refleja las

fluctuaciones simpáticas y parasimpáticas. Para elaborar el diagrama, todos los intervalos R-R consecutivos se insertan en un gráfico de dispersión bidimensional de tal manera que cada punto de intervalo R-R sea representado contra el punto previo. Por lo tanto el diagrama de Poincaré muestra una imagen cualitativa de las variaciones entre intervalos R-R y puede ser ajustada a una elipse (Karmakar, Gubbi, Khandoker, & Palaniswami, 2010). El eje transversal del diagrama de Poincaré (SD1) refleja los cambios a corto tiempo en los intervalos R-R y está ligada directamente a la actividad parasimpática. Sin embargo, el eje longitudinal (SD2) no está bien definido, pero parece ser inversamente proporcional a la actividad simpática (Naranjo et al., 2015). El lugar en donde se cruzan las líneas de SD1 y SD2 representa el valor medio de todos los intervalos R-R. Este gráfico ha sido utilizado ampliamente debido a su simple interpretación visual (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014). Una forma elíptica dispersa de la gráfica está asociada con la relajación y el buen balance del SNA, mientras que una forma más estrecha está asociada con un desbalance del SNA (Makivic et al., 2013).

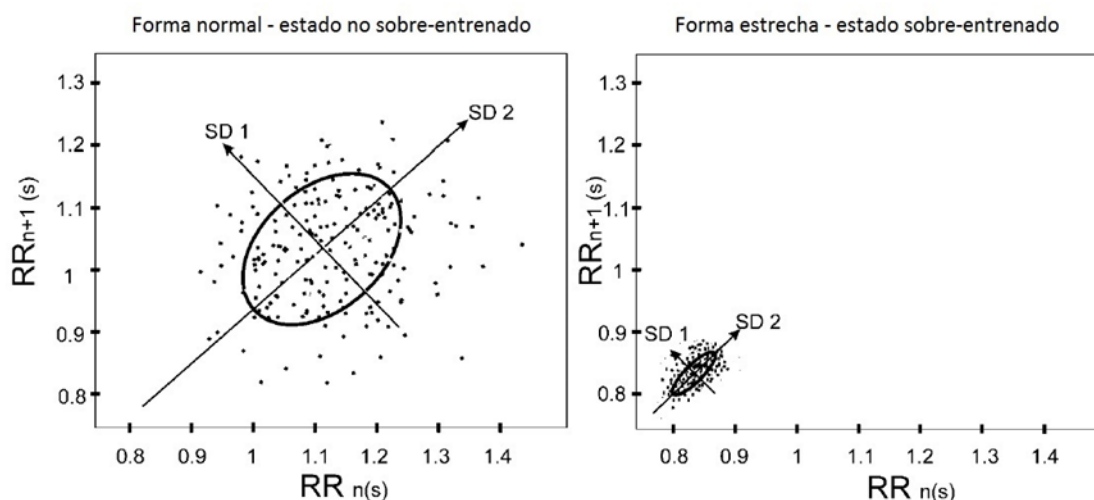


Figura 4. Atletas sin sobre-entrenamiento (izquierda) y con sobre-entrenamiento (derecha) presentados a través de una gráfica de Poincaré (Makivic et al., 2013).

Últimamente se ha incrementado la utilización de la VFC como marcador biológico en el ámbito del entrenamiento deportivo (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2010; Makivic et al., 2013; Saboul et al., 2015, 2013), ya que es

uno de los métodos más prácticos y populares para monitorear las adaptaciones positivas y negativas al entrenamiento en atletas (Kiviniemi, Tulppo, Hautala, Vanninen, & Uusitalo, 2013; Oliveira et al., 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). El SNA se encarga de llevar a cabo las funciones simpáticas y parasimpáticas que inervan el corazón y regulan la frecuencia cardiaca cuando el organismo tiene que dar una respuesta a una estimulación por ejercicio (Kaikkonen, Rusko, & Martinmäki, 2008; Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2012). La lógica detrás de utilizar la VFC para monitorear la recuperación es que el entrenamiento pesado desplaza el sistema nervioso autónomo hacia un impulso simpático y un retiro parasimpático (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Esto se refleja en un aumento de la FC y un descenso de la VFC dentro de 24 a 48 horas después del entrenamiento (Stanley, Peake, & Buchheit, 2013). El estado de recuperación de un atleta posterior a un periodo de entrenamiento está relacionado los índices de VFC (Buchheit, 2014). Se cree que un aumento en la VFC en estado de reposo es indicador de una adaptación efectiva al entrenamiento (Buchheit, 2014).

La VFC ha sido utilizada para evaluar las respuestas a las cargas de entrenamiento y las adaptaciones fisiológicas en atletas de varios deportes individuales y de equipo (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2013). Evaluaciones de la carga de entrenamiento y recuperación basadas en la VFC han sido validadas en estudios en múltiples ocasiones (Chalencon et al., 2012; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). La necesidad de monitorear efectivamente las adaptaciones positivas y negativas al entrenamiento es de gran importancia para el atleta elite, ya que siempre están buscando los límites entre la extralimitación funcional y la no funcional (Meeusen et al., 2013) por lo que se ha incrementado la tendencia de individualizar el entrenamiento en deportes de equipo por medio de monitoreo de la VFC (Halsen, 2014). La extralimitación funcional está asociada con una disminución de índices vagales de la VFC en presencia de fatiga, así como el decremento del rendimiento después de un periodo de sobrecarga (Le Meur et al., 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Posterior a una etapa de descanso los niveles de VFC regresan a valores de línea de base, indicando una hiperactividad vagal para producir súper compensación (Le Meur et al., 2013). Los cambios de los índices parasimpáticos de

la VFC en respuesta al entrenamiento han sido positivamente asociados con mejoras en varios marcadores de acondicionamiento en atletas individuales y de equipo (Boullosa et al., 2013; Buchheit et al., 2010). Por lo anterior, los resultados de investigaciones sustentan guiar el entrenamiento con base a valores de VFC en lugar de acercamientos tradicionales (Kiviniemi et al., 2010; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013).

Se ha establecido que la intensidad del ejercicio está relacionada con la VFC post ejercicio (Kaikkonen et al., 2010). Los indicadores de dominio de tiempo de la VFC bajan significativamente dentro de las primeras 24 horas de recuperación de un entrenamiento de alta intensidad y regresa a sus valores iniciales a las 72 horas (Chen et al., 2011). Posterior a un periodo de descanso de 72 horas se observa una recuperación del nivel de rendimiento superior a los valores iniciales, lo que demuestra un alto coeficiente correlación significativa entre la VFC y la recuperación (Chen et al., 2011). Entrenar en una intensidad por encima del umbral de lactato retrasa la recuperación de la VFC comparado con entrenamientos por debajo del umbral de lactato (Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014). Sin embargo, no se ha encontrado que esta variable se vea afectada por la duración o el volumen del entrenamiento (Saboul et al., 2015). En estudios longitudinales se ha encontrado que el valor de dominio de tiempo RMSSD está relacionado con la intensidad del entrenamiento, medido a través del umbral de LS, encontrando que si el atleta incrementa el tiempo de entrenamiento en ejercicios de alta intensidad se suprime la actividad parasimpática, por el contrario, entrenar con baja intensidad incrementa la actividad parasimpática (Plews et al., 2014).

La RMSSD es un índice que refleja la actividad parasimpática y representa la variación de la VFC a corto plazo (Buchheit et al., 2008). En escenarios de entrenamiento deportivo tiene mayor confiabilidad como índice de VFC en comparación con indicadores espectrales (Haddad et al., 2011). Se recomienda que los datos de RMSSD de la VFC se transformen por medio de la aplicación del logaritmo natural (Ln RMSSD) debido a la naturaleza sesgada del registro (Buchheit et al., 2010; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). El Ln RMSSD parece ser el índice

más apropiado para la evaluación en campo debido a su confiabilidad y sensibilidad para detectar adaptaciones fisiológicas y la simplicidad de su cálculo e interpretación (Buchheit, 2014; Haddad et al., 2011). El Ln RMSSD post ejercicio está negativamente correlacionado con la distancia total de carrera de alta intensidad en entrenamiento de fútbol soccer (Thorpe et al., 2015). Por el contrario, los valores espectrales de la VFC como los de alta y baja frecuencia y el índice de baja/alta frecuencia son menos confiables en el contexto de atletas altamente entrenados (Saboul et al., 2013).

Se ha reconocido que el promedio de las mediciones semanales refleja de manera más precisa las adaptaciones fisiológicas a las cargas de entrenamiento y competencia (Boullosa et al., 2013; Flatt & Esco, 2016; Plews et al., 2014). Varios estudios sostienen que mediciones de un solo día no reflejan adecuadamente el estado fisiológico y las variaciones relacionadas al estrés durante un microciclo de entrenamiento, por lo que sugieren utilizar el promedio semanal de la VFC, ya que ha mostrado ser más sensible que las mediciones aisladas obtenidas en el séptimo día de la semana para detectar la extralimitación no funcional en atletas elite (Le Meur et al., 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Los cambios en el promedio semanal del Ln RMSSD en corredores de fondo esta positivamente correlacionado con cambios en velocidad máxima aeróbica y negativamente correlacionados con cambios en el tiempo en 10 km. Por otra parte, la correlación entre los cambios en mediciones en un solo día de RMSSD (todos los martes) y alteraciones en el desempeño no fue significativa (Plews, Laursen, Kilding, et al., 2013).

Por otra parte, el coeficiente de variación (CV) del Ln RMSSD puede ser calculado de manera semanal para reflejar las variaciones día a día de la actividad cardiaca parasimpática. Esto puede proveer información valiosa con respecto a las perturbaciones homeostáticas inducidas por el entrenamiento (Buchheit, 2014). En general, atletas con un CV del Ln RMSSD más bajo presentan mayor acondicionamiento aeróbico y aparentan aceptar mejor las cargas de entrenamiento (Boullosa et al., 2013). Los cambios de CV Ln RMSSD son muy sensibles a las variaciones en desempeño de pruebas de campo de aptitud física, mostrando una

alta correlación. Sin embargo, los valores en reposo de Ln RMSSD de la VFC no mostraron este nivel de relación (Flatt, Esco, Nakamura, & Plews, 2017). Por lo anterior, creemos conveniente explorar la relación que existe entre el CV del Ln RMSSD con valores de CI observados en el entrenamiento.

La relación SD1 y SD2 se ha utilizado para evaluar la interacción entre la actividad simpática y parasimpática. Sin embargo, su interpretación todavía no es clara porque ambos términos de la relación aumentan o disminuyen simultáneamente. Esto es evidente ya que el numerador es proporcional a la estimulación parasimpática mientras el denominador es inversamente proporcional a la estimulación simpática (Naranjo et al., 2015). Por lo anterior, en un estudio reciente, Naranjo et al. (2015) propone dos nuevos índices de análisis de los parámetros simpático y parasimpático de la VFC. Al ser la SD2 inversamente proporcional a la actividad simpática, se calcula un valor de estrés (*Stress Score*, SS) con la inversa de la SD2 (multiplicándola por 1000 para obtener valores más manejables) que se puede utilizar para hacer una relación entre la actividad simpática y parasimpática por medio de la segunda propuesta del balance simpático:parasimpático (S/PS), que se obtiene al dividir el SS entre la SD1. Hasta donde sabemos no existen estudios que hayan relacionado estos dos nuevos índices con parámetros de carga de entrenamiento, por lo que resulta interesante observar su comportamiento en escenarios de campo.

La VFC es un indicador sensible a las perturbaciones homeostáticas como fatiga y estrés fisiológico y psicológico (Chandola, Heraclides, & Kumari, 2011). Se ha observado una inhibición de la actividad parasimpática en atletas que se encuentran en situaciones de estrés psicológico previo a una competencia o entrenamiento, lo que se refleja en una disminución de los valores de dominio de tiempo (RMSSD) de la VFC (Cervantes, Rodas, & Capdevila, 2009). Por este motivo, es importante considerar el estado de estrés psicológico del atleta previo a la competencia o entrenamiento si se quiere utilizar valores de VFC como un instrumento de cuantificación del estrés fisiológico impuesto por el ejercicio (Nunes et al., 2014).

Kiviniemi et al. (2010) utilizaron la VFC como indicador para la prescripción del ejercicio físico. Se encontró que se obtuvieron mejores resultados de rendimiento con el programa basado en la VFC que con los métodos tradicionales de cuantificación de carga. Autores que sugieren que la VFC post ejercicio puede permitir una evaluación objetiva de la carga de entrenamiento (Kaikkonen et al., 2010, 2012). Saboul et al. (2015) proponen un método de cuantificación de la carga de entrenamiento basado en registros de Ln RMSSD de la VFC en tres momentos: a) 5 minutos previo al ejercicio (Pre5), b) cinco minutos inmediatamente después del ejercicio (Post5) y c) 30 minutos posterior al ejercicio (Post30). La VFC pre5 representa una referencia del estado actual de fitness/fatiga del sujeto. La ecuación de Saboul se basa en la cinética de la recuperación de la VFC, tanto por la alteración como por el regreso al estado homeostático de reposo. En este sentido, la intensidad se define por los dos componentes de decremento de la RMSSD post ejercicio y el aumento en el periodo Post30 debido a una reducción de la actividad simpática simultánea con un aumento de la activación del nervio vagal (Buchheit et al., 2008; Kaikkonen et al., 2012; Saboul et al., 2015). Ya que las mediciones de VFC post ejercicio no están influenciadas significativamente por la duración del ejercicio (Kaikkonen et al., 2012; Stanley et al., 2013b) de acuerdo con los métodos de Banister y Foster la relación de la VFC también es multiplicada por la duración del ejercicio en minutos (Saboul et al., 2015). Este método de cuantificación de carga de entrenamiento por medio de VFC está altamente relacionada con los valores de cálculo de los métodos de TRIMP y sRPE (Saboul et al., 2015).

Aunque la mayoría de los estudios utilizan valores matutinos en reposo, recientemente ha crecido el interés por monitorear los efectos agudos que tiene la carga de entrenamiento en la VFC post ejercicio. Se dice que el entrenamiento físico cambia el SNA a un impulso simpático y a un retiro parasimpático (D. J. Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Y aunque los valores de VFC durante el ejercicio tienden a cero sin importar el volumen o la intensidad (Naranjo, De la Cruz, Sarabia, De Hoyo, & Domínguez-Cobo, 2015), varios estudios concuerdan en que la reducción inmediata de la VFC post ejercicio (de los primeros 2 a 5 minutos de recuperación) se ve afectada principalmente por la intensidad del ejercicio y no por el

volumen o la duración (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2010; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014; Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, 2015).

También se ha estudiado el ritmo de la recuperación de la VFC post ejercicio, debido a que puede ser explicada por una reducción en la actividad simpática con un aumento simultáneo de la activación del nervio vago (Saboul et al., 2015). Al igual que ocurre con la reducción aguda de la VFC post ejercicio, varios estudios afirman que el factor principal que afecta el retraso de la recuperación de la VFC es la intensidad del ejercicio (Kaikkonen et al., 2010; Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, & Nummela, 2012; Martinmäki & Rusko, 2008; Seiler, Haugen, & Kuffel, 2007) y que este no se ve afectado por el volumen de entrenamiento (Kaikkonen et al., 2012; Seiler et al., 2007). Cuando los sujetos entrenan a baja intensidad (por debajo del primer umbral ventilatorio) se puede observar una rápida recuperación de los índices de VFC post ejercicio (Martinmäki & Rusko, 2008). En entrenamientos de alta intensidad (por encima del segundo umbral ventilatorio) se observa un retraso en la recuperación de los índices de VFC, lo cual se puede atribuir a la naturaleza anaeróbica de la actividad, probablemente explicada por respuestas metabo-reflejo (Kaikkonen et al., 2010; Martinmäki & Rusko, 2008). La noción de que es la intensidad y no el volumen de entrenamiento lo que más afecta el retraso de la recuperación de la VFC puede ser engañoso, ya que los estudios revisados comparan tratamientos con diferentes duraciones en el mismo rango de baja intensidad. Sería interesante ver si la recuperación de la VFC se ve afectada al cambiar la duración de ejercicios de alta intensidad. Por otro lado, varios estudios sostienen que la recuperación de la VFC post ejercicio también se ve afectada por el estatus de entrenamiento (Plews et al., 2014; Seiler et al., 2007). Además, se ha declarado que la modalidad del ejercicio (intermitente vs continuo) afecta la recuperación de la VFC, pero estos resultados son ambiguos, dado que las comparaciones fueron hechas entre tratamientos ejecutados a la misma intensidad de ejercicio (Kaikkonen, Rusko, & Martinmäki, 2008).

Aunque la mayoría de los estudios que han medido la VFC post ejercicio inmediata han considerado el volumen y la intensidad, encontramos que la literatura que compara estos valores con valores de TRIMP es incipiente. La mayoría de los estudios comparan al TRIMP con VFC en reposo para evaluar las respuestas de actividad autónoma y la adaptación al ejercicio (Botek, Mckune, Krejci, Stejskal, & Gaba, 2014; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Sin embargo, existe un estudio que estableció una relación negativa entre los métodos de TRIMP de Manzi y Banister con valores de VFC post ejercicio en los tiempo 60, 120 y 180 segundos (Kaikkonen et al., 2012). En otro trabajo se propuso un novedoso método de TRIMP basado en VFC para ejercicio continuo, observando la reducción de la VFC y la recuperación a los 30 minutos como una función de la intensidad de entrenamiento, multiplicada por la duración en minutos (Saboul et al., 2015). Este método mostró correlación significativa y acuerdo con el TRIMP de Banister utilizando tratamientos en condiciones controladas de intensidad y duración.

Debido al inconveniente que representa para los entrenadores y atletas el registro de VFC en tiempos tan prolongados de 30 minutos post ejercicio, pensamos que con base al método de Saboul (2015) se puede cuantificar la carga de entrenamiento con un proceso simplificado de registro ultra corto de VFC en tres momentos: a) Últimos 5 minutos de un periodo de 5 minutos previos al entrenamiento (Pre5), b) Un periodo de 5 minutos inmediatamente después del entrenamiento (Post5) y C) Periodo entre 5 y 10 minutos posterior al entrenamiento (Post10). Por lo tanto, uno de los objetivos de este estudio fue analizar la relación entre la estimación de CI con diferentes métodos de TRIMP, la disminución y recuperación aguda post ejercicio de varios índices de VFC post ejercicio en jugadores de hockey sobre pasto durante un periodo de preparación previo a una competencia fundamental (campeonato nacional de la categoría).

Capítulo 2 Fundamentos metodológicos

Diseño

El enfoque del estudio fue cuantitativo; se midieron magnitudes de variables numéricas; el problema fue concreto, delimitado y fundamentado teóricamente; se plantearon hipótesis y se dio tratamiento estadístico a los datos. El alcance fue descriptivo, ya que se estudiaron y contrastaron características entre grupos; también fue correlacional, porque se estableció el grado de asociación entre dos o más variables. El diseño fue no-experimental, se observaron situaciones que se presentaron de manera natural en un contexto de entrenamiento de hockey sobre pasto, las variables independientes no se manipularon de manera deliberada para ver su efecto en otras variables. Fue de carácter longitudinal de evolución de grupo por el interés de analizar el comportamiento de las variables durante el tiempo.

Muestra

Se analizó un grupo único de muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia. Participaron 11 sujetos integrantes del equipo Sub-16 representativo del Estado de Sonora de hockey sobre pasto. El equipo analizado fue campeón de su categoría en la Olimpiada Nacional Juvenil en el año de realización del estudio. Los sujetos fueron invitados a participar de manera voluntaria y se les otorgó un formato de consentimiento informado. Como los sujetos eran menores de 18 años, el consentimiento se obtuvo de sus tutores legales. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud de la UANL con folio: COBICIS-58/12/2017/02-FOD-BRRC.

Los criterios de inclusión para los sujetos fueron:

- Pertenecer a la selección Sonora de hockey sobre pasto.
- Participar en la etapa de preparación del entrenamiento de hockey con una duración de cuatro meses.
- Presentar un certificado médico que los declare aptos para la práctica del deporte sin ninguna restricción.

- Firmar un consentimiento informado por escrito después de haberle dado una detallada explicación de los objetivos del estudio, beneficios y riesgos. La participación de los sujetos fue completamente voluntaria, sin que se viera afectado el estatus actual en el equipo y se podían retirar del estudio en cualquier momento si así lo deseaban sin ser penalizados.

Criterios de exclusión para los sujetos fueron:

- Padezca alguna enfermedad cardíaca o consuma medicamentos que pudieran alterar los resultados.
- Sufrir alguna lesión que le imposibilite la práctica deportiva durante el estudio.
- El sujeto expresara el deseo de no continuar con el estudio en cualquier parte del proceso.
- No presentar un nivel de acondicionamiento físico adecuado para soportar las cargas de entrenamiento a las que serán sometidos.

La información demográfica de los sujetos se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Media y desviación estándar de la información demográfica de la muestra.

Edad	Talla	Peso	% Grasa	% Ósea	% Músculo	VO2max
14.41 ± 0.51	168.23 ± 5.25	55.55 ± 4.26	11.49 ± 2.93	20.69 ± 1.92	46.81 ± 3.22	49.26 ± 2.19

Variables

Carga externa.

Representa la actividad total de los jugadores durante el entrenamiento y se calculó por medio del método de “*Carga del jugador*” por acelerometría. El instrumento utilizado fue el acelerómetro triaxial ActiGraph (ActiGraph GT3X+; ActiGraph LLC, Pensacola, Florida). El valor de “*Carga del jugador*” es la resultante en unidades *g* de la sumatoria de los vectores de los ejes transversal, medio-lateral y antero-posterior del acelerómetro multiplicado por el tiempo de duración de la sesión de entrenamiento.

Carga interna.

Representa el efecto fisiológico de la CE en el organismo de los jugadores. Para su valoración y comparación se utilizaron cuatro diferentes métodos de TRIMP basados en FC. El instrumento utilizado para la recolección de datos fue el sistema Polar Team2 (Polar electro Oy, Kempele, Finlandia), por medio de monitores que registran, almacenan y/o transmiten los valores de frecuencia cardiaca.

El primer método de TRIMP utilizado fue de Banister (bTRIMP), se calcula como el producto de la FCres promedio de la sesión, por la duración en minutos, por un factor de ponderación que corresponde a la respuesta típica genérica de LS a una prueba incremental.

El segundo método fue el TRIMP de Ewards (eTRIMP), también conocido como SHRZ (*Summated Heart Rate Zones*), se calcula como el producto del tiempo en minutos que los jugadores pasan en zonas de frecuencia cardiaca definidas por el porcentaje de la FCmax por un factor de ponderación asignado a cada zona.

El tercer método fue el TRIMP individualizado de Manzi (iTRIMP), se calcula con la sumatoria de los productos de cada valor de FCres promedio observado en una sesión de entrenamiento por el tiempo de duración del periodo en minutos y a su vez por un factor de ponderación que corresponde a la respuesta individual de LS a una prueba incremental.

El cuarto método de TRIMP es una nueva propuesta de modificación hecha por los autores (mTRIMP), se calcula con la sumatoria de los productos de cada valor de FCres observado con un ritmo de muestreo de 1Hz durante una sesión de entrenamiento, por el tiempo de duración del periodo en minutos, por un factor de ponderación que corresponde a la respuesta típica genérica de LS a una prueba incremental propuesto por Banister.

Variabilidad de la frecuencia cardiaca.

Es cuantificar la variación de los tiempos entre intervalos R-R. Existen varios parámetros de VFC, sin embargo en este estudio sólo se consideraron la RMSSD,

Stress Score y el balance simpático/parasimpático. La recolección de los tiempos de los intervalos R-R se hizo con los monitores Polar H7 (Polar electro Oy, Kempele, FinalIndia) por medio de una aplicación de teléfono inteligente.

La RMSSD se obtiene con la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R sucesivos. Este valor representa la modulación parasimpática del SNA.

La SD1 y la SD2 son la dispersión transversal y longitudinal de los puntos obtenidos a partir del gráfico de Poincaré. La SD1, al igual que la RMSSD, representa la modulación parasimpática. La SD2 se comporta inversamente proporcional a la actividad simpática.

El Stress Score se obtiene con la inversa de la SD2 multiplicada por 1000. Arroja un valor directamente proporcional a la actividad simpática del SNA. El balance simpático/parasimpático es la proporción entre stress score y la SD1.

Procedimiento

En la figura 5 se presenta un gráfico del protocolo realizado para llevar a cabo el estudio.

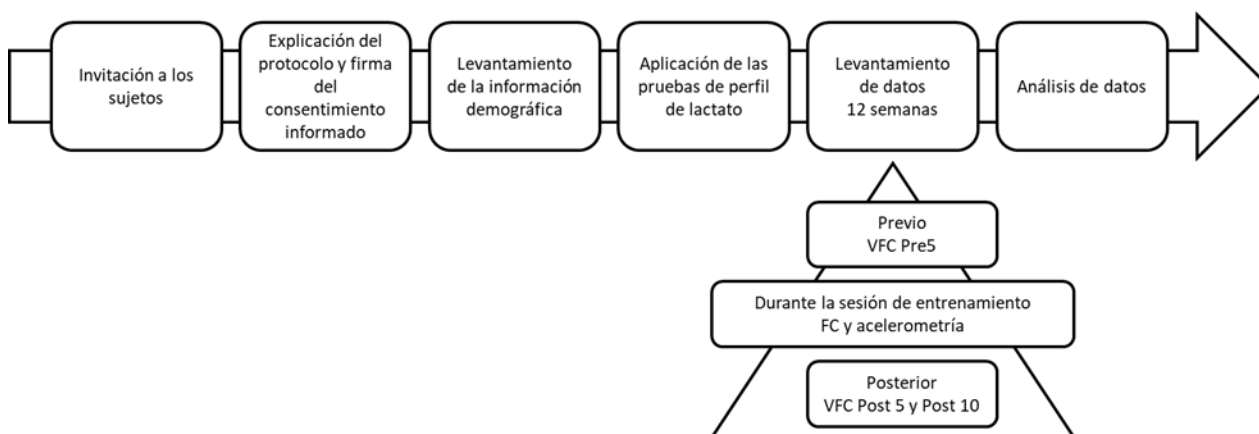


Figura 5. Gráfico del protocolo del estudio.

Información demográfica

Con la finalidad de describir a los sujetos se tomaron medidas antropométricas de estatura (Estadiómetro digital, modelo 274; Seca, Hamburgo, Alemania), peso y porcentaje de masas corporales de cuatro compartimentos por métodos de bio-impedancia (básculas digitales médicas, modelo TBF-310; Tanita Corporation, Tokyo, Japón) y diámetros óseos (antropómetro FUTREX, Filderstadt, Alemania).

La estatura se registró en centímetros. El sujeto debe estar sin calzado, con la vista al frente en el plano transversal, formando un ángulo de 90° con respecto al eje longitudinal del cuerpo. Se debe colocar el medidor completamente horizontal y haciendo contacto con la parte más alta de la cabeza.

Para determinar el peso y la masa grasa se utilizó báscula TANITA modelo TBF-310 de análisis de impedancia bio-eléctrica tetrapolar, frecuencia de medición de 50kHz, rango de 150 - 900Ω, capacidad máxima de 270kg.

Para el análisis se requiere el ingreso de los siguientes datos: peso de la ropa (kg), sexo (hombre – mujer), tipo de cuerpo (estándar – atlético), edad (años), estatura (cm). La báscula arroja un resultado impreso como se muestra en la figura 6.

Muestra

TANITA BODY COMPOSITION ANALYZER TBF-300A	
BODY TYPE	STANDARD
GENDER	MALE
AGE	25
HEIGHT	166 cm
WEIGHT	61.3 kg
BMI	22.2
FAT%	13.9 %
BMR	6583 kJ
	1573 kcal
IMPEDANCE	517 Ω
FAT MASS	8.5 kg
FFM	52.8 kg
TBW	38.7 kg
DESIRABLE RANGE	
FAT%	8-20 %
FAT MASS	4.6-13.2 kg

Figura 6. Impresión de resultado báscula TANITA. Muestra los datos obtenidos de tipo de cuerpo, sexo, edad, estatura, índice de masa corporal, porcentaje de grasa, tasa metabólica basal, impedancia, masa grasa, masa libre de grasa, agua corporal total.

Para determinar la masa ósea se tomaron los diámetros de codo y rodilla con antropómetro (FUTREX, Filderstadt, Alemania). El ancho del codo o diámetro bicondíleo humeral se registra en milímetros. Los dedos índices se utilizan como guía para localizar los cóndilos. Se toma la medida del brazo derecho, colocándolo en un ángulo de 90° con respecto al antebrazo. El sujeto no debe realizar esfuerzo. Se registra del diámetro bicondíleo femoral o anchura de rodilla en milímetros. La toma se hace del lado derecho, utilizando como guía los dedos índices y pulgares, colocando sin ejercer fuerza alguna la pierna en un ángulo de 90° con respecto al muslo. Con los datos de estatura, ancho de codo y ancho de rodilla podremos calcular la masa ósea en kilogramos con la siguiente fórmula (Bravo, 2006):

$$\text{Masa ósea} = (h^2 * R * C * 400)^{.712} * 3.02$$

Dónde:

- h^2 = Estatura al cuadrado en metros.

- R= Diámetro de rodilla en metros.
- C= Diámetro de codo en metros.

El cálculo de la masa visceral se realizó multiplicando el peso corporal por una constante estadística que representa el porcentaje de peso corporal (Bravo, 2006).

- Promedio en hombres: 26%
- Promedio en mujeres: 24%

El cálculo de la masa muscular se realizó restando al peso corporal la sumatoria de las otras tres masas. Este procedimiento se puede realizar en kilogramos (Bravo, 2006).

$$MM = PA - (MG + MO + MV)$$

Dónde:

- MM= Masa muscular.
- MG= Masa grasa.
- MO= Masa ósea.
- MV= Masa visceral.

Prueba intermitente de aptitud física 30-15.

Como parte de la información descriptiva de los sujetos se aplicó la prueba intermitente de aptitud física 30-15 (*Intermittent Fitness Test*, [IFT]), la cual consiste en carreras de ida y vuelta de 40 metros repetidas durante 30 segundos, intercaladas con 15 segundos de recuperación activa (caminar) e incrementos de 0.5 km/h por cada etapa (Buchheit, 2010a).

Esta prueba difiere de otras pruebas de carrera incremental en su carácter intermitente, ya que cuenta con periodos de recuperación y de que incluye movimientos de cambios de dirección, lo cual impone una carga fisiológica mayor al ejercicio que si fuera sólo carrera continua (Buchheit, 2010b).

Perfil de LS en prueba incremental.

Según la metodología del iTRIMP de Manzi et al. (2009), se determinó el perfil de LS de cada sujeto por medio de una prueba de esfuerzo incremental. El protocolo comprende etapas sucesivas de 3 minutos de carrera (Tapiz rodante Freemotion, E.U. motor 4.45 CHP velocidad máxima 12 mph compatible con pulsómetro Polar) a una velocidad inicial de 6 Km/h intercaladas con un minuto de descanso pasivo. La velocidad del tapiz se incrementa por 2 Km/h en cada etapa de 3 minutos hasta llegar al agotamiento (Manzi, Iellamo, et al., 2009). El valor máximo de FC observado se registrará como la FCmax.

Durante la recuperación se registró la FC de la etapa y se tomaron muestras de sangre capilar para determinar concentración de LS (Lactómetro Accutrend Plus, Roche Diagnostics, Mannheim, Alemania). Según las instrucciones del fabricante del lactómetro, las mediciones de lactato deben realizarse exclusivamente en el intervalo de temperatura entre 15-35 °C y una humedad relativa máxima del 85%.

Para la medición se requieren los siguientes elementos:

- Accutrend Plus.
- Tiras reactivas con el codificador correspondiente BM-Lactate REF 03012654370.
- Dispositivo de punción (lanceta) Roche Accucheck Safe-T-Pro REF 03307492001.
- Alcohol y gasa.

Para la medición de la concentración de LS se deben seguir los siguientes pasos:

1. Insertar la tira de codificación correspondiente.
2. Preparar el dispositivo de punción insertando una lanceta nueva.
3. Extraer la tira reactiva del tubo.
4. Insertar la tira reactiva en el aparato hasta que tope.
5. Abrir la tapa de la cámara de medición.

6. Utilizar el dispositivo de punción para pinchar el dedo en la cara externa.
7. Aplicar la gota de sangre que cuelgue libremente directamente del dedo en el área de aplicación de la muestra. El dedo no debe tocar al área de aplicación. La sangre debe aplicarse inmediatamente después de la punción. El área de aplicación debe quedar totalmente cubierta.
8. Cerrar la tapa de la cámara de medición.
9. El aparato arroja el resultado de concentración de LS en 60 segundos.

El registro de la FC se consideró según los valores arrojados por el Monitor de FC Polar Team2, de acuerdo al valor promedio de FC en el periodo de esfuerzo (Figura 7).

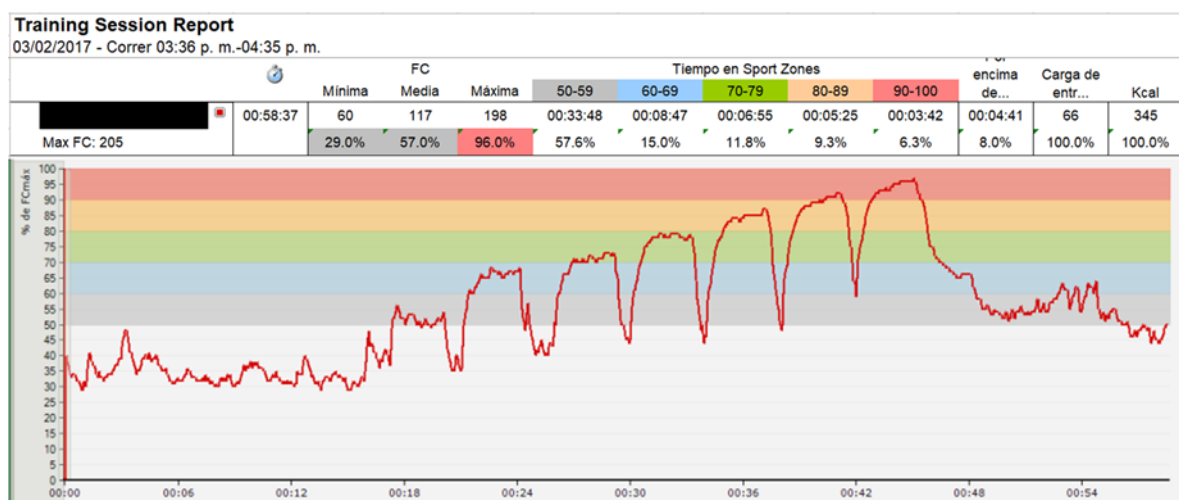


Figura 7. Gráfica de FC de la prueba de esfuerzo incremental.

Se capturaron los datos (Figura 8) de LS obtenidos en Microsoft Excel para elaboración de la gráfica de curva de LS y posterior análisis.

Etapa	Velocidad Km/h	Tiempo	FC	Fcres	Lactato
0	Pre		106		0.9
1	6	3	111	0.41	1.2
2	8	3	137	0.58	1.4
3	10	3	147	0.65	1.7
4	12	3	159	0.73	1.2
5	14	3	175	0.83	2.7
6	16	3	188	0.92	5.5
7	18	3	197	0.98	7

Figura 8. Captura en Excel de los valores de velocidad de la banda, frecuencia cardiaca absoluta, frecuencia cardiaca de reserva y lactato sanguíneo observados durante le ejecución de la prueba de esfuerzo incremental.

Sesiones de entrenamiento.

El levantamiento de los datos se llevó a cabo durante la etapa de preparación especial de entrenamiento de hockey sobre pasto en un periodo de tres meses. Según lo reportado por el cuerpo técnico el modelo de periodización utilizado fue de carácter tradicional de ciclo anual. El macrociclo de entrenamiento estuvo dividido en tres periodos: preparatorio, competitivo y transitorio. El periodo de preparación se dividió en dos etapas: general y especial. La etapa general comprendió los meses de agosto a diciembre; la etapa especial comprendió los meses de enero a abril. En ésta etapa entre los meses de febrero a abril se recopilaban los datos. En estos tres meses se planificaron tres mesociclos denominados estabilizador, pulimento y modelaje competitivo. El mesociclo estabilizador tuvo un microciclo de choque intensivo, un mesociclo de desarrollo, un mesociclo ordinario y uno recuperatorio; el mesociclo de pulimento estuvo integrado por dos microciclos de choque y dos de desarrollo; el mesociclo de modelaje competitivo tuvo dos microciclos de desarrollo y dos ordinarios. Posterior a la toma de datos el equipo comenzó una etapa

precompetitiva y competitiva en el mes de mayo, durante este mes el equipo tuvo su competencia fundamental.

Ningún investigador tuvo incidencia en el contenido de las sesiones de entrenamiento, éstas fueron diseñadas y conducidas por el cuerpo de entrenadores de hockey sobre pasto de la Comisión del Deporte del Estado de Sonora (CODESON).

Las sesiones de entrenamiento tuvieron una duración de dos horas con frecuencia de cinco días a la semana. Sin embargo, algunos jugadores extendían su tiempo de entrenamiento hasta tres o cuatro horas de acuerdo a las necesidades los entrenadores. En promedio cada jugador participó en 29.9 sesiones, en total se analizaron 329 sesiones de entrenamiento.

Monitoreo de la FC.

Durante el estudio se colocaron monitores de FC Polar Team2 (Polar electro Oy, Kempele, Finlandia) a cada uno de los jugadores antes de todas las sesiones de entrenamiento. El transmisor se conecta a una correa elástica; la correa debe de humedecerse en el área de los electrodos antes de colocarse y se coloca alrededor del pecho con los electrodos haciendo contacto con la piel. Las respuestas de FC de los jugadores se graban en los transmisores en intervalos de un segundo para ser descargados a una computadora personal y analizados después del entrenamiento.

Carga externa.

La CE se determinó utilizando acelerómetros triaxiales (Actigraph) posicionados en la superficie posterior del torso al nivel del ángulo inferior de la escápula (Scanlan et al., 2014). Los acelerómetros se aseguraron a cada jugador en la correa de pecho del monitor de FC por medio de cintas con velcro. La colocación del acelerómetro en esta posición minimiza el riesgo de lesión por contacto y daño del equipo. Esta colocación sitúa al acelerómetro lo más cerca posible del centro de masa del sujeto para una mejor representación de movimientos de cuerpo completo.

Cada acelerómetro tiene un rango de salida de $\pm 6g$ y las muestras se recogen a un ritmo de 100 Hz. Los movimientos de cuerpo completo se determinan por el ritmo instantáneo acumulado de cambios de aceleración en tres planos de movimiento. La CE es entonces calculada utilizando un algoritmo determinado por la siguiente fórmula:

$$Carga\ del\ jugador = \sqrt{\frac{(a_{y1} - a_{y-1})^2 + (a_{x1} - a_{x-1})^2 + (a_{z1} - a_{z-1})^2}{100}}$$

Dónde:

a_y = aceleración anteroposterior; a_x = aceleración mediolateral; y a_z = aceleración longitudinal.

Los datos de aceleraciones en unidades g de cada una de las sesiones de entrenamiento de los jugadores se registran en el dispositivo Actigraph. Posteriormente el dispositivo se conecta a un ordenador para la extracción de los datos por medio del Software Actilife (Versión 6.13.3, 2016, Pensacola, Florida, EU), el cual arroja los valores de CE por medio de la fórmula de “*Carga del jugador*”.

Se ha establecido la confiabilidad (coeficiente de correlación intra-clase [ICC] = .92; error estándar de la media [SEM] = 256.3 AU) del modelo de carga de entrenamiento externa del acelerómetro en deportes de conjunto (Scanlan et al., 2014), además de fundamentarse su validez al observarse un alto coeficiente de correlación ($r = .98$) entre la carga de entrenamiento del acelerómetro y la velocidad de carrera durante una prueba de carrera incremental (8-16 km/h) basada en banda caminadora (Scanlan et al., 2014).

eTRIMP.

Se calculó el modelo de cuantificación de CI de Edwards (1994), también conocido como “Sumatoria de zonas de frecuencia cardíaca” (*Summated heart rate zones*, [SHRZ]), el cual combina la duración y la intensidad de la actividad. La intensidad es ponderada de acuerdo a cinco zonas de FC relativas a la FCmax. Los minutos transcurridos en cada zona son multiplicados por un factor de ponderación

que le da más peso a las zonas con mayores respuestas relativas de FC (ver tabla 3).

El valor de eTRIMP de la sesión de entrenamiento se calculó de manera automática por el software Polar Team2.

bTRIMP.

Se calculó el bTRIMP como un método de cuantificación de CI de una sesión de entrenamiento. Se obtuvo al multiplicar el porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva promedio de la sesión (%FCres), por la duración total de la sesión en minutos (Banister, 1991).

Para realizar el cálculo del %FCres se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%FC_{res} = \frac{FC_{prom} - FC_{rep}}{FC_{max} - FC_{rep}}$$

Dónde:

- FCrep = Frecuencia cardiaca en reposo. Se determina colocando al sujeto en posición supina por un periodo de dos minutos. Se registrará el más bajo valor de FC observado (Manzi et al., 2010; Scanlan et al., 2014; Scott et al., 2013).
- FCprom = Frecuencia cardiaca promedio. Se obtiene de los valores extraídos del Polar Team2 en una sesión completa de entrenamiento, representa la media aritmética de los valores de FC observados.
- FCmax = Frecuencia cardiaca máxima. Es el valor máximo de FC observado en la prueba de esfuerzo incremental (Manzi, Iellamo, et al., 2009).

Para evitar darle una importancia desproporcionada a la actividad de larga duración a bajos niveles de %FCres, en comparación con actividad intensa pero de poca duración, el %FCres es ponderado por un factor multiplicador (y) que refleja la intensidad del esfuerzo. Este factor se basa en el aumento exponencial de los niveles de LS contra la elevación fraccional del ejercicio por encima de los valores de FCrep. El TRIMP de la sesión se calcula en unidades arbitrarias (UA) por medio de siguiente fórmula:

$$TRIMP (UA) = \%FC_{res} * t * y$$

Dónde:

- t = Tiempo de entrenamiento en minutos.
- Para hombres $y = 0.64 * e^{1.92 * FC_{res}}$.
- Para mujeres $y = 0.86 * e^{1.67 * FC_{res}}$.
 - e = Base del logaritmo natural neperiano (2.718281828).

iTRIMP.

Para el cálculo del iTRIMP se obtuvieron los valores de latidos por minuto (*Beats per Minute*, BPM) por medio de la función de exportar datos del sistema Polar Team2. Los datos exportados en formato de bloc de notas se capturaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para inspección visual y posterior análisis.

Se calculó el factor de ponderación individual por medio de la curva de lactato obtenida utilizando la ecuación matemática de curva exponencial, considerando los valores de lactato como “y” y los valores de FCres como “x”.

$$y = a * e^{b * x}$$

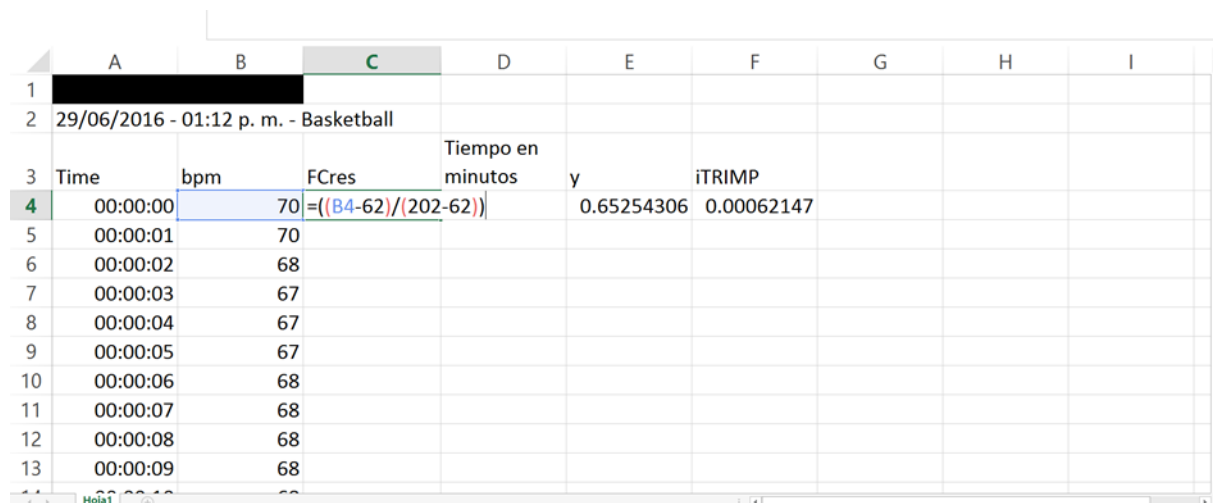
Una vez obtenido el factor de ponderación individual, se ingresó la fórmula en Microsoft Excel de cálculo del iTRIMP a cada valor de FC en BPM, multiplicando el valor de %FCres por el tiempo en minutos (como el intervalo es de 1 segundo, el tiempo en minutos será 1/60) por el factor de ponderación obtenido. El iTRIMP de la sesión se calcula con la sumatoria de cada valor observado con la siguiente fórmula:

$$iTRIMP = \sum \%FC_{res} * t * y$$

Dónde:

- %FCres = Porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva del valor en BPM observado.
- t = tiempo en minutos (intervalo de 1 segundo = 1/60).
- y = Factor de ponderación individual calculado.

Para el cálculo del valor de iTRIMP de cada uno de los valores de BPM de la sesión se ingresa la fórmula en Microsoft Excel (Figura 9), comenzando por el %FCres ($FC_{eje} - FC_{rep} / FC_{max} - FC_{rep}$).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	29/06/2016 - 01:12 p. m. - Basketball								
3	Time	bpm	FCres	Tiempo en minutos	y	iTRIMP			
4	00:00:00	70	$=((B4-62)/(202-62))$		0.65254306	0.00062147			
5	00:00:01	70							
6	00:00:02	68							
7	00:00:03	67							
8	00:00:04	67							
9	00:00:05	67							
10	00:00:06	68							
11	00:00:07	68							
12	00:00:08	68							
13	00:00:09	68							

Figura 9. Fórmula del porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva en Microsoft Excel.

El tiempo en minutos se expresa 1/60 ya que representa el valor en un intervalo de un segundo.

Se calcula el factor de ponderación con los datos obtenidos ($y = a * e^{b*x}$) como se muestra en la figura 10.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	29/06/2016 - 01:12 p. m. - Basketball							
3	Time	bpm	FCres	Tiempo en minutos	y	iTRIMP		
4	00:00:00	70	5.71%	0.01666667	=0.6468*(2.718281828^(0.1547*C4))			
5	00:00:01	70						
6	00:00:02	68						
7	00:00:03	67						
8	00:00:04	67						
9	00:00:05	67						
10	00:00:06	68						
11	00:00:07	68						
12	00:00:08	68						

Figura 10. Fórmula en Microsoft Excel del factor de ponderación individualizado (y) para el cálculo del iTRIMP. Considera el exponente calculado y el valor de la base del logaritmo neperiano (2.718281828).

Para obtener el iTRIMP del valor individual de FC se multiplicaron los tres factores como se muestra en la figura 11:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	29/06/2016 - 01:12 p. m. - Basketball							
3	Time	bpm	FCres	Tiempo en minutos	y	iTRIMP		
4	00:00:00	70	5.71%	0.01666667	0.65254306	=C4*D4*E4		
5	00:00:01	70						
6	00:00:02	68						
7	00:00:03	67						
8	00:00:04	67						
9	00:00:05	67						
10	00:00:06	68						
11	00:00:07	68						
12	00:00:08	68						

Figura 11. Cálculo del iTRIMP al multiplicar los factores de frecuencia cardiaca de reserva, tiempo de duración y factor de ponderación individual (y).

Se repitió la operación por cada uno de los valores de FC observados. Se hace la sumatoria de todos los valores para obtener el iTRIMP de la sesión como se muestra en la figura 12.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	29/06/2016 - 01:12 p. m. - Basketball							
3	Time	bpm	FCres	Tiempo en minutos	y	iTRIMP		
4	00:00:00	70	5.71%	0.01666667	0.65254306	0.00062147		
5	00:00:01	70	5.71%	0.01666667	0.65254306	0.00062147		
6	00:00:02	68	4.29%	0.01666667	0.65110253	0.00046507		
8388	02:26:44	104	30.00%	0.01666667	0.67752546	0.00338763		
8389	02:26:45	104	30.00%	0.01666667	0.67752546	0.00338763		
8390	02:26:46	104	30.00%	0.01666667	0.67752546	0.00338763		
8391								
8392					SUMATORIA	45.9870344		
8393								

Figura 12. Cálculo del iTRIMP haciendo la sumatoria de cada uno de los valores de FC observados en intervalos de 1 segundo durante la sesión de entrenamiento.

mTRIMP.

En este estudio se propone una nueva metodología de cálculo de TRIMP haciendo modificaciones a los métodos de Banister y Manzi denominado mTRIMP. El cálculo del mTRIMP se hizo siguiendo los mismos pasos del iTRIMP, con la diferencia de que en lugar de usar los factores de ponderación individuales calculados por las curvas de lactato de cada jugador, se utiliza el factor de ponderación genérico de Banister (1991). Cada uno de los valores de FC observados en la sesión de entrenamiento son multiplicados por el tiempo de muestreo y a su vez por el factor de ponderación genérico con base en la siguiente fórmula:

$$mTRIMP = \sum \%FC_{res} * t * (0.64 * e^{1.92*FCres})$$

Cálculo de los índices de entrenamiento.

Para un mejor análisis de la relación entre la CE y la CI en los jugadores se calcularon vario índices de carga de entrenamiento.

Para analizar la intensidad de la CE por unidad de tiempo se calculó el índice de *Carga del jugador/minuto*. Para este cálculo se tomó el valor de “Carga del jugador” arrojado en una sola sesión de entrenamiento y se dividió entre los minutos totales de duración de esta sesión. Con este índice, más allá de saber cuál fue la CE

total de la sesión, nos da una idea de la intensidad externa promedio que ejerce el jugador en cada minuto del entrenamiento.

Para analizar las respuestas individuales de los jugadores a la carga de entrenamiento por unidad de tiempo se calcularon los índices TRIMP/minuto de los cuatro métodos. Éste índice se calculó tomando los valores de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP de cada una de las sesiones de entrenamiento y se dividió entre los minutos totales de duración en esa sesión. Éste índice nos da una idea del efecto fisiológico promedio por minuto que sufrieron los jugadores en cada sesión.

Para analizar el efecto de la CE en las respuestas internas se calcularon los índices de TRIMP/Carga del jugador. Para hacer el cálculo de este índice se tomaron los valores de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP arrojados en cada sesión de entrenamiento y se dividieron por el valor total de “*Carga del jugador*” arrojada en esa sesión. Este índice nos indica cual fue el efecto fisiológico ejercido en el sujeto por cada unidad de CE ejercida.

Variabilidad de la frecuencia cardiaca.

El registro de los datos se llevó a cabo con transmisores Polar H7, considerado un instrumento validado (Giles, Draper, & Neil, 2016) utilizando una aplicación en teléfono inteligente (Plews, Laursen, & Buchheit, 2016). Las mediciones de VFC se realizaron con los sujetos en posición sentado. Esta posición se considera adecuada para estos registros, es cómoda para los sujetos y requiere menos equipamiento que las mediciones en posición supina (Pereira, Flatt, Ramirez-Campillo, Loturco, & Nakamura, 2016; Stanley et al., 2013). Se hizo un registro de intervalos R-R de cada sujeto por un periodo de cinco minutos ante de comenzar cada sesión de entrenamiento (Pre5). Inmediatamente después de terminar la sesión de entrenamiento se realizó un segundo registro por un periodo de 10 minutos; éste se dividió en dos periodos de cinco minutos (Post5 y Post10) para su posterior análisis.

Se exportaron los datos de intervalos R-R a una computadora en formato de bloc de notas. Todos los parámetros de VFC de las series de intervalos R-R

importados se calculan con el software Kubios (Universidad del Este de Finlandia, Kuopio, Finlandia) como se muestra en la figura 13.

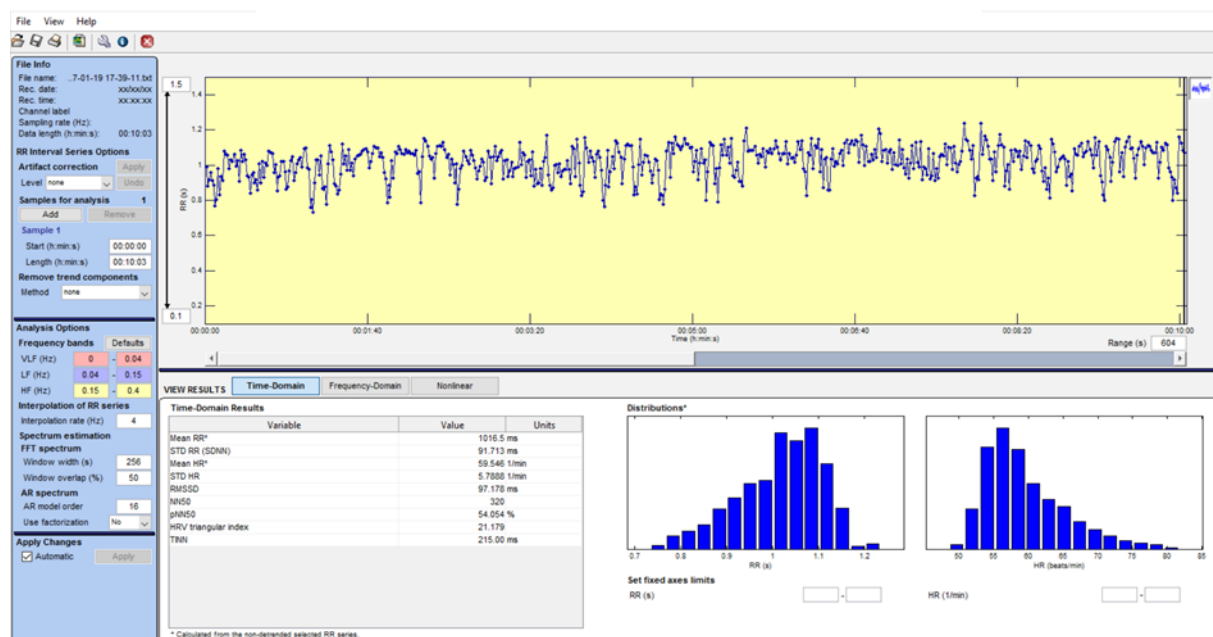


Figura 13. Captura de pantalla software Kubios para análisis de VFC.

Se hizo una inspección visual de los datos para identificar artefactos. Los errores ocasionales o latidos ectópicos encontrados se corrigieron con la función de filtro de Kubios. Se estableció el periodo de tiempo a analizar y se capturaron los parámetros de dominios de tiempo, frecuencia y no lineales.

Se consideró criterio de exclusión del estudio las sesiones de entrenamiento en la que el equipo presentaba múltiples errores al registrar los intervalos R-R. En total se examinaron 229 sesiones.

Procesamiento de datos

Se utilizó el software estadístico SPSS (versión 22 para Windows, SPSS, Inc., Chicago, IL). Los resultados se expresan como medias \pm DE con intervalos de confianza del 95%.

Se comprobó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk (Scanlan et al., 2014). Los valores de VFC no estaban distribuidos de manera normal por lo que se hizo una transformación logarítmica. Se utilizó ANOVA de mediciones

repetidas de un factor para analizar el efecto del tiempo en los valores de VFC en los momentos Pre, Post5 y Post10 de todas las sesiones de entrenamiento. Se utilizó el valor F de Lambda de Wilks para identificar diferencias, el tamaño del efecto (*effect size*, [ES]) se analizó por medio de la ETA parcial cuadrada (η^2p). Se evaluó la relación entre los valores post ejercicio de VFC y la intensidad del entrenamiento por medio del coeficiente de correlación bi-variada de Pearson (utilizando un valor de alfa de dos colas de .05).

Se utilizaron coeficientes de correlación bi-variada de Pearson (utilizando un valor de alfa de dos colas de .05) para examinar correlaciones entre los métodos de TRIMP. También se analizó la relación que tienen estos métodos de TRIMP con la “Carga del jugador” por medio del coeficiente de correlación bi-variada de Pearson. La magnitud de las correlaciones fueron evaluadas bajo el siguiente criterio: trivial 0 - .10; pequeña .11 - .30; moderada .31 - .50; grande .51 - .70; muy grande .71 - .90; casi perfecta .91 – 1. Para evaluar la fuerza de los coeficientes de correlación se calculó el ES por medio del coeficiente de determinación (R^2). ES de 0.8 o más, alrededor de 0.5 y 0.2 o menos fueron considerados como grande, moderado y pequeño respectivamente (Manzi, Castagna, et al., 2009; Scanlan et al., 2014).

Para comprobar las diferencias entre sujetos de los valores de “Carga del jugador”, bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP se utilizó un ANOVA de un factor por bloques al azar. Se determinó el ES por medio del valor de ETA.

Se utilizó la prueba *t* para muestras relacionadas para comprobar diferencias por pares entre los valores de medias de los cuatro métodos de TRIMP de cálculo de CI. Se utilizó la *d* de Cohen para calcular el ES. Se establecieron rangos de pequeño (debajo de 0.20), moderado (de 0.2 a 0.50) y grande (encima de 0.50) para evaluar los tamaños del efecto. La concordancia entre los diferentes métodos de cuantificación de la carga se examinó por el gráfico de Bland y Altman. Para elaborar el gráfico se contrastaron los métodos y se calcularon las diferencias y las medias entre los pares de mediciones, estos valores se incluyeron en un gráfico de dispersión simple. Se establecieron límites de concordancia en el gráfico entre la media y ± 1.96 de la desviación estándar de las diferencias. Los métodos de TRIMP

arrojan las mismas unidades arbitrarias de medida, por lo que no fue necesario hacer transformación de los datos para compararlos.

La significancia de todos los parámetros se estableció en $p < .05$.

Capítulo 3 Resultados

Para verificar la intermitencia de la actividad durante los entrenamientos de hockey sobre pasto se observaron los valores de porcentajes de tiempo transcurrido en las zonas de FC delimitadas por el primer y segundo UL, clasificando las actividades desarrolladas en estas zonas como de alta ($> 2UL$), media ($1UL - 2UL$) y baja intensidad ($< 1UL$). Estos valores se reportan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Porcentaje de tiempo transcurrido en las zonas de alta ($> 2UL$), baja ($< 1UL$) y media ($1UL - 2UL$) intensidad durante los entrenamientos de hockey de acuerdo a los valores de FCres observados.

Sujeto	Intensidad		
	Alta	Media	Baja
01	2.43%	28.84%	68.72%
02	2.21%	29.52%	68.27%
03	0.29%	20.47%	79.23%
04	1.11%	24.11%	74.77%
05	0.03%	8.66%	91.32%
06	1.40%	31.72%	66.88%
07	0.73%	16.68%	82.59%
08	0.40%	25.96%	73.63%
09	1.63%	30.17%	68.20%
10	0.98%	22.55%	76.48%
11	0.17%	11.32%	88.51%
Grupal	$1.04 \pm 0.81\%$	$22.73 \pm 7.76\%$	$76.24 \pm 8.42\%$

Con el objetivo de comprobar la relación lineal entre la FC y la CE en el entrenamiento intermitente de hockey sobre pasto, se hizo una comparación gráfica de los valores de CE por acelerometría en contraste con los valores de FC absoluta, mostrando comportamientos muy semejantes. Un ejemplo de la similitud entre la CE y la FC de uno de los sujetos en una sesión de entrenamiento se puede observar en la figura 14.

Resultados

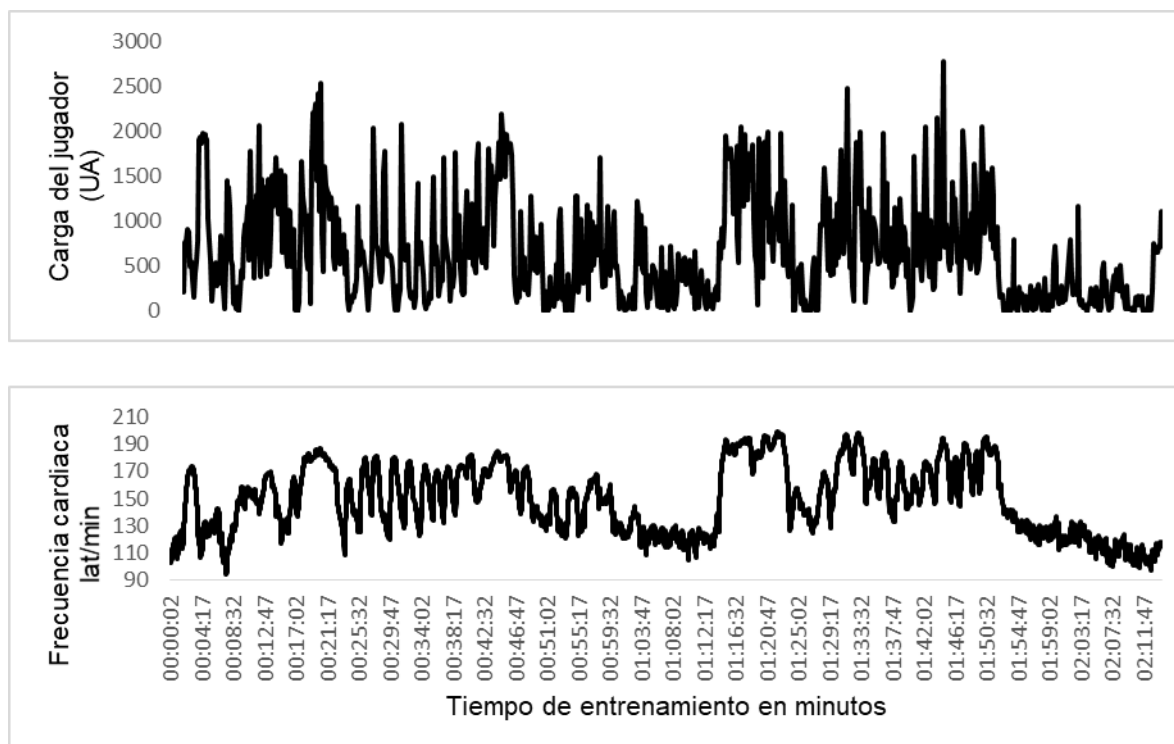


Figura 14. Comparación entre la gráfica de “Carga del jugador” y la FC en lat/min durante una sesión de entrenamiento de hockey sobre pasto.

Al analizar los datos integrando la totalidad de la muestra se observa una relación lineal ($r = .699$, $p < .01$) entre los valores de “Carga del jugador” y FC en valores absolutos en lat/min durante las sesiones de entrenamiento (Figura 15). El ES lo indica el coeficiente de determinación $R^2 = 0.489$, el cual expresa que el 48.9% del cambio en la FC está explicado por la “Carga del jugador”. El análisis sujeto por sujeto muestra relaciones aún más fuertes entre estas dos variables, arrojando altos valores en todo el rango de coeficientes de correlación ($r = .701 - .933$, $p < .01$). Cuando analizamos las magnitudes del ES de la relación lineal entre la “Carga del jugador” y la FC de manera individual en cada jugador se encontró que la frecuencia cardiaca estaba explicada en el rango del 49.1% a 87.0% por la “Carga del jugador”.

Resultados

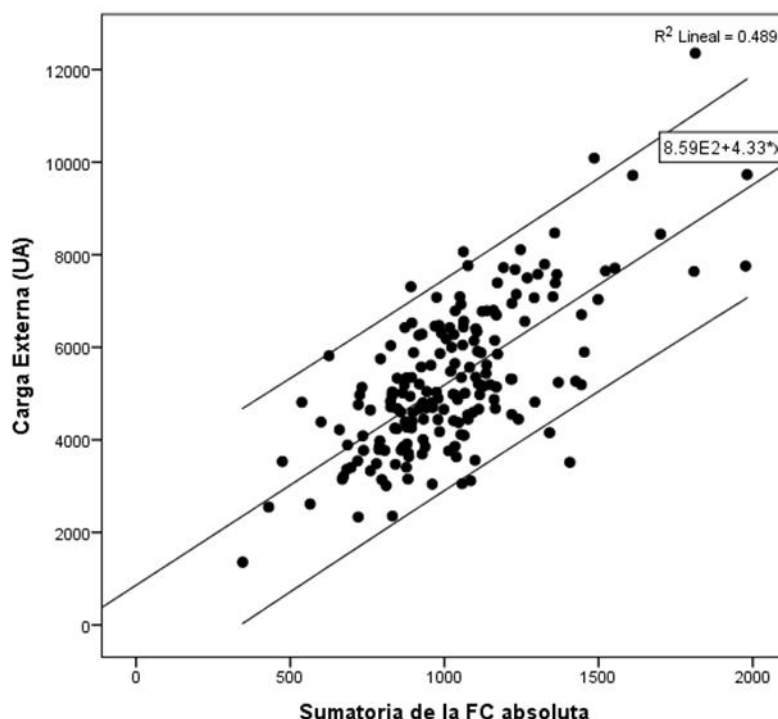


Figura 15. Gráfico de dispersión entre CE por acelerometría y la FC en lat/min.

Para cumplir el objetivo de analizar la relación dosis respuesta entre los sujetos se determinó el coeficiente de ponderación para el cálculo del iTRIMP por medio de un análisis del perfil de lactato de cada uno de los jugadores, se calcularon los factores de ponderación individuales que representan el aumento exponencial de la concentración de LS en la prueba de esfuerzo incremental. Los factores obtenidos se muestran en la tabla 8.

Tabla 8.

Coeficientes de ponderación de acuerdo a la ecuación exponencial $y = a \cdot e^{b \cdot x}$.

Coeficientes de ponderación de los sujetos	
Sujeto 01 = $0.33e^{3.09x}$	Sujeto 07 = $0.37e^{3.76x}$
Sujeto 02 = $0.21e^{4.13x}$	Sujeto 08 = $0.28e^{3.96x}$
Sujeto 03 = $0.54e^{3.34x}$	Sujeto 09 = $0.18e^{4.24x}$
Sujeto 04 = $1.26e^{2.49x}$	Sujeto 10 = $0.23e^{3.98x}$
Sujeto 05 = $0.12e^{4.7x}$	Sujeto 11 = $0.34e^{3.83x}$
Sujeto 06 = $1.20e^{2.52x}$	Media equipo = $0.42e^{3.45x}$

Nota.- e = Logaritmo Neperiano 2.7182.

Resultados

En la figura 16 se aprecian las diferencias en las respuestas fisiológicas de cada jugador con respecto a la FCres. Se pueden integrar los valores individuales en una sola curva para determinar un coeficiente de ponderación general para el equipo.

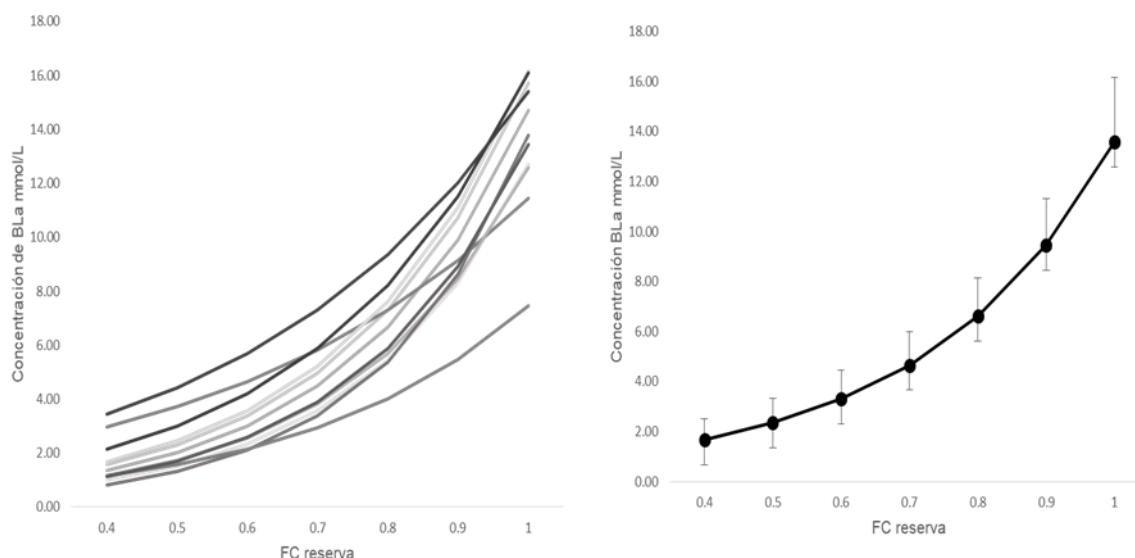


Figura 16. Izquierda, curvas de lactato individuales de cada sujeto. Derecha, curva que representa la media de los valores del equipo.

En la figura 17, podemos observar las diferencias entre las curvas de lactato generadas por los distintos coeficientes de ponderación de los métodos de TRIMP de Banister, Manzi y Stagno con respecto a los resultados de la curva promedio del equipo de Hockey sobre pasto estudiado en esta investigación.

Resultados

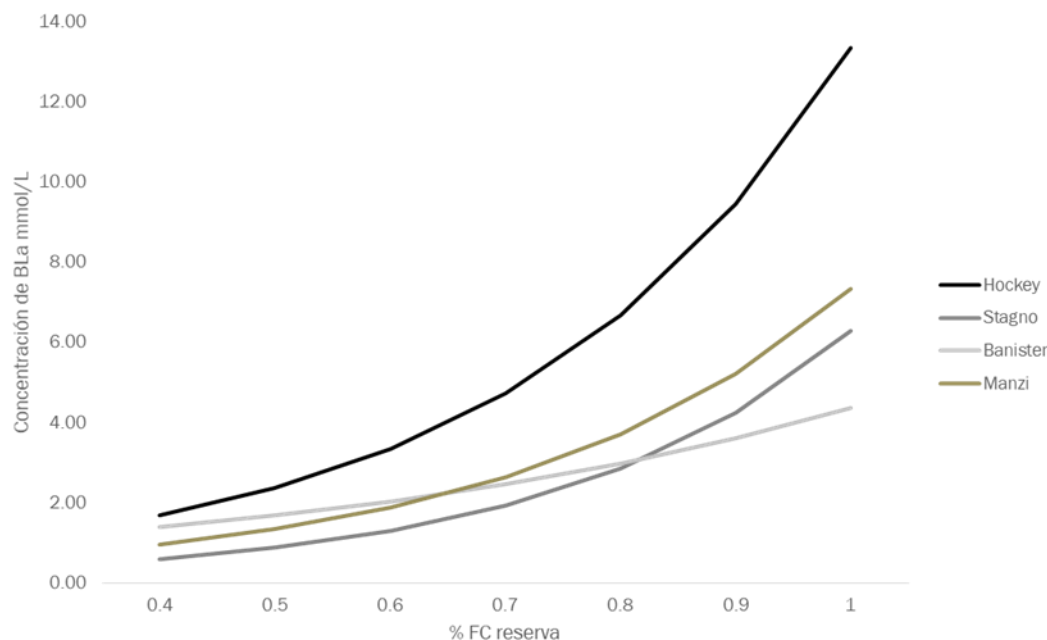


Figura 17. Comparativa entre las curvas de elevación exponencial de concentración de LS generadas por los factores de ponderación de los métodos de Banister, Stagno, Manzi y la de este estudio.

Como parte del mismo análisis de dosis-respuesta, en la tabla 9 se presentan los datos descriptivos de “Carga del jugador”, bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP y iTRIMP con valores por sesión de media y desviación estándar.

Tabla 9.

Valores descriptivos de minutos, “Carga del jugador”, eTRIMP, bTRIMP, mTRIMP e iTRIMP por sesión de cada sujeto.

Sujeto	Minutos		CE		bTRIMP		eTRIMP		mTRIMP		iTRIMP	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
01	148.25	29.72	6981.06	1697.18	132.09	52.28	137.75	59.85	157.60	61.56	182.81	87.51
02	114.87	30.04	5828.90	1204.89	95.75	30.43	117.20	35.40	122.38	38.61	192.22	74.18
03	141.08	29.43	4265.52	1089.63	109.12	36.57	127.68	41.26	122.38	40.28	251.63	100.02
04	123.75	24.34	4705.05	740.76	86.98	28.69	141.25	42.70	111.39	37.01	315.66	113.56
05	138.76	29.10	4018.48	954.27	59.56	23.86	65.08	26.05	70.80	29.79	60.59	40.07
06	137.62	30.15	5188.07	1169.93	135.54	44.35	160.95	54.22	152.71	50.77	355.26	123.67
07	134.54	18.63	5234.46	1305.02	86.07	22.86	120.77	33.99	102.89	26.77	182.61	67.22
08	143.26	38.63	6449.14	1317.20	123.54	37.65	140.61	43.20	139.76	41.43	223.83	86.72
09	139.24	26.54	6029.32	1816.04	129.48	50.99	149.12	65.89	150.49	59.59	209.59	120.87
10	123.24	31.74	4802.38	1407.32	87.79	51.91	122.29	69.63	104.81	58.97	145.10	105.77
11	158.91	35.72	7696.08	1909.43	90.74	26.34	88.88	23.40	104.21	28.22	153.03	50.40

DE = Desviación estándar.

Para verificar si hubo diferencias de CE de entrenamiento en los valores medios por sesión de “*Carga del jugador*” entre sujetos el ANOVA de un factor arrojó valores de $F = 17.38$ mostrando diferencias significativas ($p < .01$). El ES ETA nos indica que el sujeto explica el 66.6% de la diferencia del valor de “*Carga del jugador*” arrojado.

También se analizó si existían diferencias de respuestas al entrenamiento entre los sujetos. Se compararon los valores de bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP, el ANOVA de un factor arrojó valores de $F = 8.74, 8.46, 17.7$ y 7.94 respectivamente. En todos los casos se encontraron diferencias significativas de los valores de TRIMP entre los sujetos ($p < .01$). El ES ETA nos indicó que el sujeto explica el 53.5%, 52.9%, 67% y 51.7% de las diferencias los métodos de bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP respectivamente.

Las diferencias entre relación entre la “*Carga del jugador*” y las respuestas internas expresadas por los cuatro diferentes métodos de TRIMP se puede inspeccionar visualmente en la Figura 18. En esta gráfica se puede apreciar claramente que los métodos que utilizan factores de ponderación genéricos tienen un comportamiento similar, mientras que el iTRIMP, que utiliza factor de ponderación individualizado presenta respuestas diferenciadas.

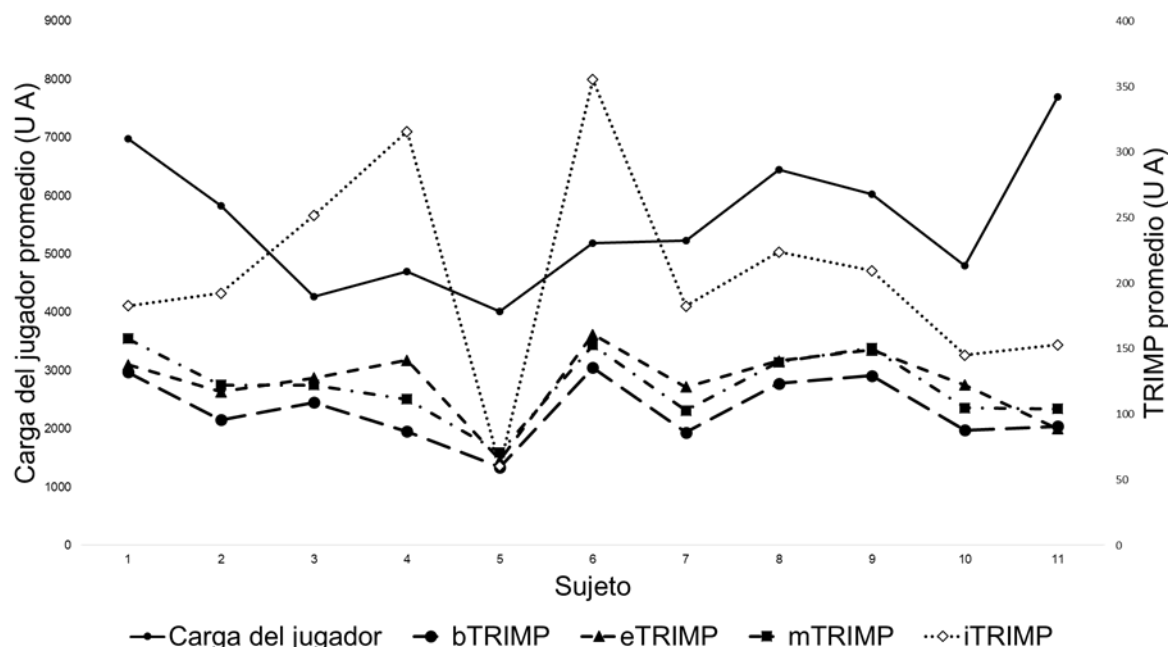


Figura 18. Gráfica comparativa contrastando la “Carga del jugador” y los métodos bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP.

Visualmente se aprecia que el método de TRIMP individualizado presenta los valores medios más altos, mientras que el método de TRIMP Banister arrojó los valores medios más bajos.

Aunque el volumen en minutos es sólo uno de los diversos componentes de la carga de entrenamiento, se hizo un análisis de diferencias entre los sujetos con respecto a los minutos de entrenamiento por sesión. Al atender todos los sujetos las mismas sesiones, se puede suponer que no existieron diferencias de número de minutos entre sujetos. Sin embargo, el ANOVA de un factor ejecutado mostró diferencias significativas ($p < .01$) con valor de $F = 3.5$. El ES ETA indicó que los sujetos explican el 37.2% de las diferencias en minutos, el cual es un porcentaje menor comparado con las respuestas de “Carga del jugador” y distintos TRIMPs.

Para analizar la intensidad de CE ejercida por unidad de tiempo por cada jugador durante las sesiones de entrenamiento se calculó el índice de *Carga del jugador/minuto*. Para analizar las respuestas individuales de los jugadores a la carga de entrenamiento por unidad de tiempo se calcularon los índices TRIMP/minutos de

Resultados

los cuatro métodos. Los datos descriptivos de estos índices se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.

Valores descriptivos de los índices de “Carga del jugador”, bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP por minuto de todas las sesiones de entrenamiento.

Sujeto	Carga del jugador/min		bTRIMP/min		eTRIMP/min		mTRIMP/min		iTRIMP/min	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
01	47.44	7.57	0.90	0.29	0.95	0.38	1.07	0.35	1.25	0.51
02	51.88	8.09	0.84	0.22	1.04	0.28	1.07	0.26	1.67	0.57
03	31.00	7.73	0.79	0.26	0.94	0.34	0.89	0.29	1.85	0.78
04	38.59	5.10	0.70	0.18	1.15	0.29	0.90	0.22	2.53	0.70
05	29.30	6.07	0.43	0.14	0.47	0.17	0.51	0.18	0.43	0.26
06	38.11	6.35	0.99	0.26	1.18	0.36	1.12	0.30	2.60	0.76
07	39.28	9.13	0.65	0.17	0.91	0.26	0.77	0.20	1.37	0.52
08	47.23	13.85	0.91	0.39	1.05	0.52	1.03	0.40	1.70	1.08
09	43.43	9.85	0.93	0.28	1.07	0.39	1.08	0.33	1.49	0.70
10	39.65	9.77	0.71	0.36	1.01	0.54	0.86	0.42	1.19	0.81
11	52.74	25.20	0.58	0.14	0.59	0.20	0.67	0.16	1.00	0.36

DE = Desviación estándar.

Con respecto al índice de carga de jugador por minuto encontramos diferencias significativas ($p < .01$) de este valor entre los sujetos. El análisis de ANOVA de un factor nos arroja un valor de $F = 9.02$. El ES ETA nos indica que los sujetos explican un 54.1% de las diferencias de este índice.

Al hacer el ANOVA de un factor para verificar diferencias entre los valores de TRIMP/minutos de los métodos de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP entre los sujetos encontramos diferencias significativas ($p < .01$) en cada uno de ellos, con valores de $F = 10.11$, 9.68, 10.17 y 19.12 respectivamente. El ES ETA nos indica que los sujetos explicaron el 56.3%, 55.5%, 56.4% y 68.4% respectivamente de la diferencia de los valores de índices de TRIMP/minuto.

Para analizar las respuestas individuales de TRIMP a la CE también se calcularon los índices de TRIMP/Carga del jugador de los cuatro métodos. Los datos descriptivos de estos índices se muestran en la tabla 11.

Resultados

Tabla 11.

Valores descriptivos de los índices de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP y “Carga del jugador” ajustados (multiplicados por 100 para un mejor manejo) de todas las sesiones de entrenamiento.

Sujeto	bTRIMP		eTRIMP		mTRIMP		iTRIMP	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
01	1.86	0.40	1.95	0.54	2.22	0.46	2.55	0.76
02	1.62	0.31	1.99	0.38	2.07	0.39	3.22	0.89
03	2.56	0.58	3.02	0.74	2.88	0.66	5.87	1.77
04	1.83	0.49	2.99	0.72	2.35	0.60	6.64	1.89
05	1.46	0.37	1.60	0.43	1.73	0.46	1.43	0.68
06	2.57	0.41	3.05	0.58	2.89	0.46	6.71	1.20
07	1.71	0.50	2.39	0.71	2.04	0.57	3.58	1.30
08	1.91	0.39	2.18	0.51	2.16	0.43	3.46	1.13
09	2.11	0.30	2.41	0.47	2.45	0.35	3.28	1.04
10	1.73	0.65	2.44	0.95	2.08	0.75	2.81	1.57
11	1.45	1.89	1.34	1.32	1.65	2.04	2.39	2.87

DE = Desviación estándar.

Al hacer el ANOVA de un factor para verificar diferencias entre los valores de TRIMP/Carga del jugador de los métodos de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP entre los sujetos, también se encontraron diferencias significativas ($p < .01$) en cada uno de ellos, con valores de $F = 4.97, 13.43, 4.61$ y 26.15 respectivamente. El ES ETA nos indica que los sujetos explicaron el 43.1%, 61.7%, 41.8% y 73.9% respectivamente, de la diferencia de los valores de índices de TRIMP/Carga del jugador.

Al hacer el análisis para cumplir el objetivo de relacionar los resultados de CI entre los cuatro distintos métodos de TRIMP. Se encontró que el comportamiento de los cuatro métodos sigue la misma tendencia, al tener coeficientes de correlación de grandes, a casi perfectos, entre los cuatro métodos (Tabla 12).

Resultados

Tabla 12.

Coefficientes de correlación entre los cuatro métodos de TRIMP.

	1	2	3
1 eTRIMP	-		
2 bTRIMP	.913**	-	
3 mTRIMP	.932**	.984**	-
4 iTRIMP	.893**	.808**	.816**

**Coeficientes de correlación a $p < .01$.

Por medio del coeficiente de determinación podemos verificar que el ES de la relación entre los métodos de TRIMP fue de moderado a grande, ya que se manifestó que un método explica la relación con el otro en un rango del 65.2% al 96.8%.

Con la intención de cumplir el objetivo de comparar los valores arrojados por los cuatro métodos, presentamos los datos descriptivos de los valores de bTRIMP, eTRIMP, mTRIMP e iTRIMP como media (\pm DE) de 102.76 ± 44.16 , 121.44 ± 53.36 , 120.33 ± 50.33 y 201.03 ± 118.33 respectivamente. Se observaron diferencias entre el método de bTRIMP con eTRIMP ($t_{(228)} = 13.9$, $p < .01$), mTRIMP ($t_{(228)} = -28.7$, $p < .01$) e iTRIMP ($t_{(228)} = -17.4$, $p < .01$). También se encontraron diferencias entre el iTRIMP con respecto a bTRIMP ($t_{(228)} = 17.4$, $p < .01$), eTRIMP ($t_{(228)} = -16.3$, $p < .01$) y mTRIMP ($t_{(228)} = -15.09$, $p < .01$). No se encontró diferencia entre los métodos de Edwards y modificado (Figura 19).

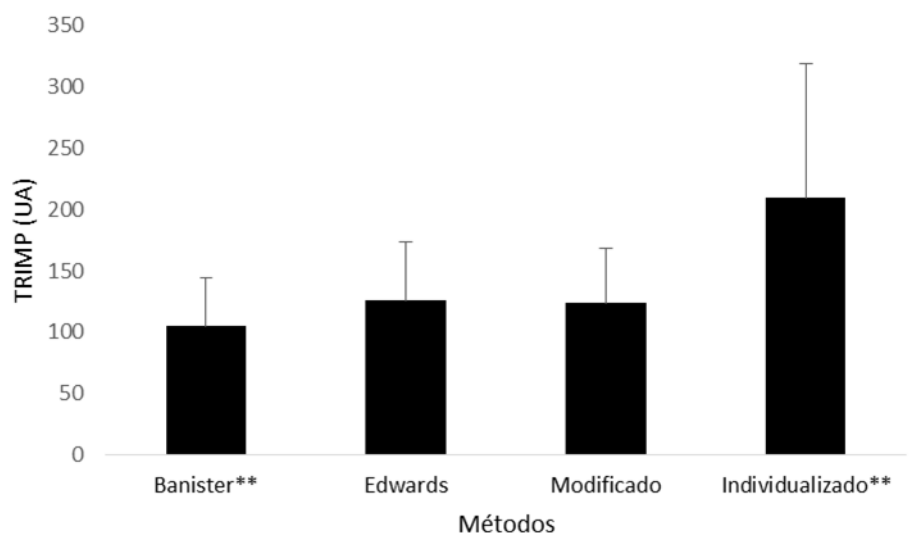


Figura 19. Comparación de medias de los valores de CI en UA entre los cuatro métodos de TRIMP.

**Diferencias a $p < .01$ con el resto de los métodos.

Se encontró que el ES en las diferencias entre bTRIMP con eTRIMP ($d = 0.38$) y mTRIMP ($d = 0.37$) fue moderado y con iTRIMP ($d = 1.10$) fue grande. El ES de las diferencias de iTRIMP con bTRIMP ($d = 1.10$), eTRIMP ($d = 0.86$) y mTRIMP ($d = 0.88$) fue grande.

No fue necesario hacer un análisis de concordancia entre los métodos individualizado y Banister con los demás métodos por la alta significancia ($p < .01$) de las diferencias de con respecto al valor de referencia "0".

Al no encontrar diferencias significativas entre los métodos de eTRIMP y mTRIMP se comprobó el nivel de concordancia entre ellos por medio de la gráfica de Bland y Altman (figura 20), el análisis de regresión lineal entre las diferencias y las medias entre los valores de los dos métodos nos arroja una alta significancia de la t ($p < .01$) lo que indica que existe sesgo entre los métodos y no concuerdan.

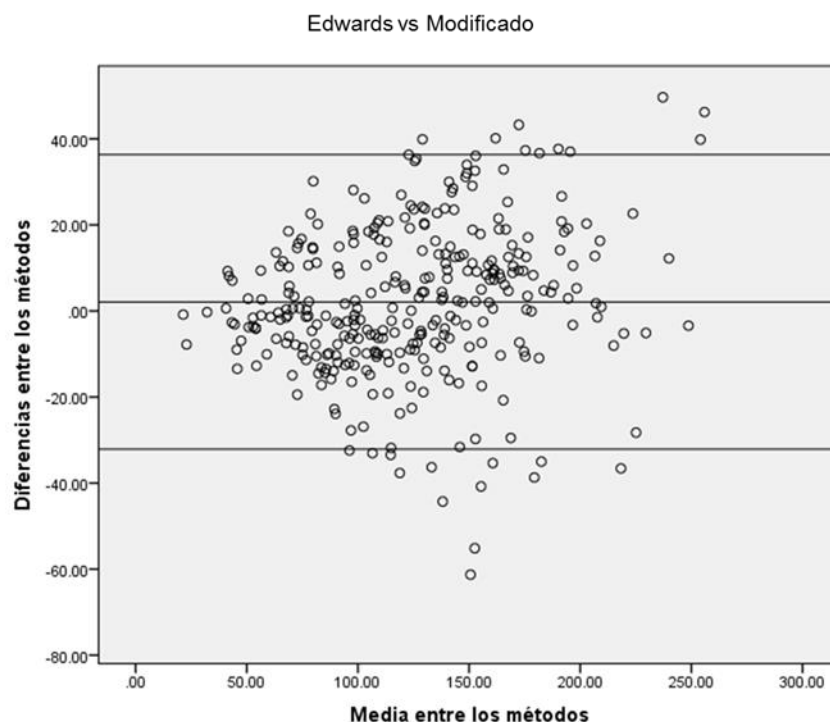


Figura 20. Gráfico de Bland y Altman entre los métodos de eTRIMP y mTRIMP. La línea del centro representa la media de las diferencias entre los métodos, las líneas superior e inferior representan los intervalos de confianza al 96%.

Con el objetivo de determinar la relación entre los métodos de TRIMP con “Carga del jugador” medida por acelerometría encontramos que tuvieron correlación significativa ($p < .01$). Los métodos de bTRIMP ($r = .509$, $R^2 = .259$) y mTRIMP ($r = .516$, $R^2 = .267$) mostraron correlación grande. El método de eTRIMP mostró correlación moderada ($r = .336$, $R^2 = .113$). El método iTRIMP mostró correlación pequeña ($r = .224$, $R^2 = .050$). Al observar el ES comprobamos que mTRIMP y bTRIMP tienen un coeficiente medio, mientras que eTRIMP y iTRIMP muestran un coeficiente pequeño como se muestra en la Figura 21.

Resultados

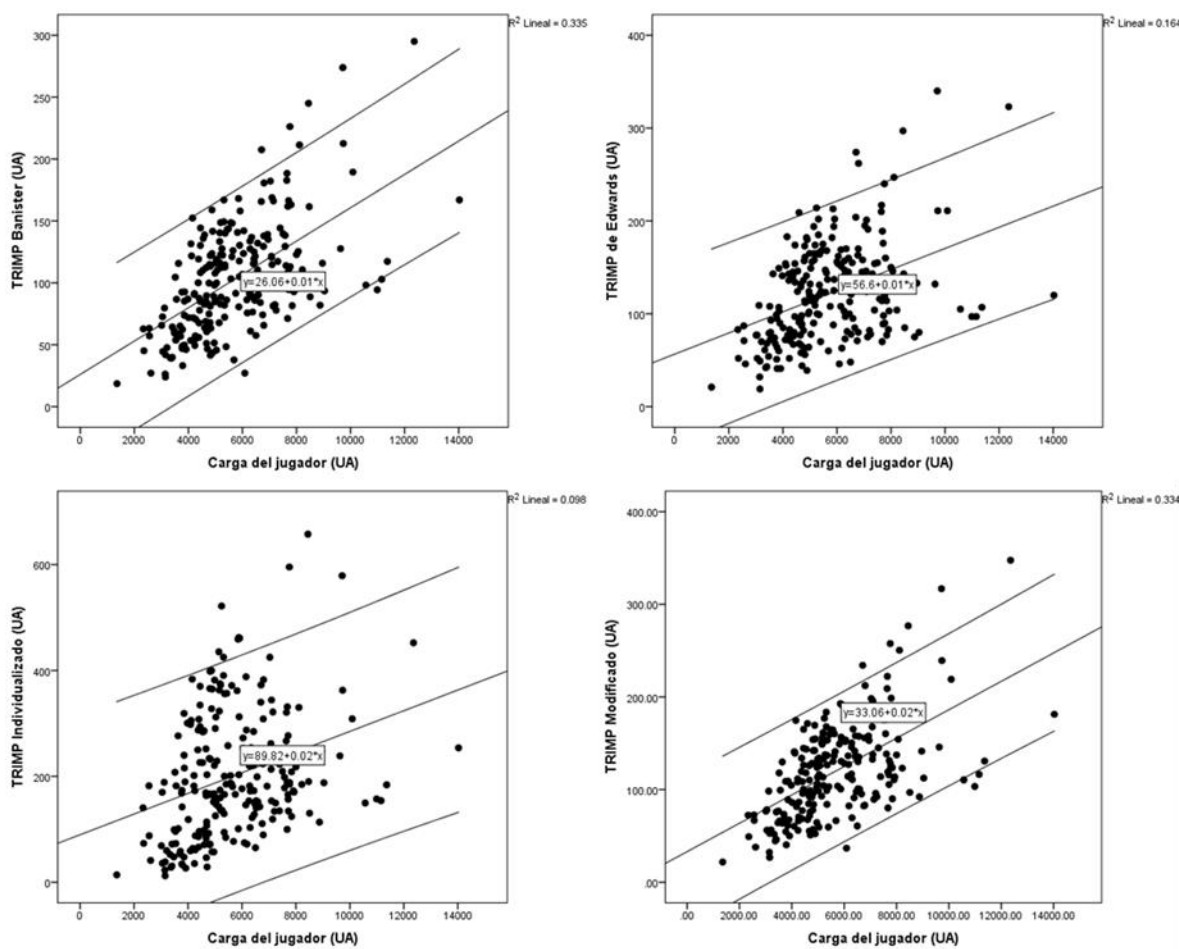


Figura 21. Cuadros de dispersión y coeficientes de determinación entre los métodos de TRIMP y “Carga del jugador”

Para verificar las diferencias de los valores de VFC en los tiempos Pre5, Post5 y Post 10 se llevó a cabo un análisis de ANOVA de mediciones repetidas de un factor. El análisis indicó que existen diferencias entre los tres momentos de medición de VFC ($N = 229$). Los resultados muestran un efecto significativo del momento de la toma ($\text{Lambda de Wilks} = .45$, $F_{(2, 227)} = 135.11$, $p < .01$) para índice parasimpático Ln RMSSD, por lo que se rechaza la hipótesis nula. El ES ETA parcial cuadrada (η^2p) nos indica que el 54.3% del cambio en Ln RMSSD se le puede atribuir al momento de la toma.

En el caso del Ln SS el resultado del ANOVA de mediciones repetidas de un factor también mostró un efecto significativo del momento de la toma ($\text{Lambda de Wilks} = .56$, $F_{(2, 227)} = 86.09$, $p < .01$) por lo que también se rechaza la hipótesis nula.

El ES ETA parcial cuadrada (η^2p) nos indica que el 43.1% del cambio en Ln SS se le puede atribuir al momento de la toma.

Para el valor del índice simpático/parasimpático (S/PS) el resultado del ANOVA de mediciones repetidas de un factor también mostró un efecto significativo del momento de la toma (Lambda de Wilks = .78, $F_{(2, 227)} = 30.35$, $p < .01$) por lo que también se rechaza la hipótesis nula. El ES ETA parcial cuadrada (η^2p) nos indica que el 21.1% del cambio en índice S/PS se le puede atribuir al momento de la toma.

Comparaciones posteriores indicaron que las diferencias entre pares de cada uno de los índices presentaban diferencias ($p < .01$). Existe una marcada disminución de la VFC entre Pre y Post5, lo que indica que el ejercicio realizado en el entrenamiento supone un estrés físico al cuerpo, reduciendo los indicadores parasimpáticos y aumentando los indicadores simpáticos. Por otra parte, durante el tiempo de recuperación entre Post5 y Post10 se observa un aumento de la VFC, aunque con un efecto menos marcado. Esto indica que en este periodo se alcanzan a recuperar de manera positiva los índices simpático y parasimpático. Estos dos efectos se pueden apreciar visualmente en la figura 22.

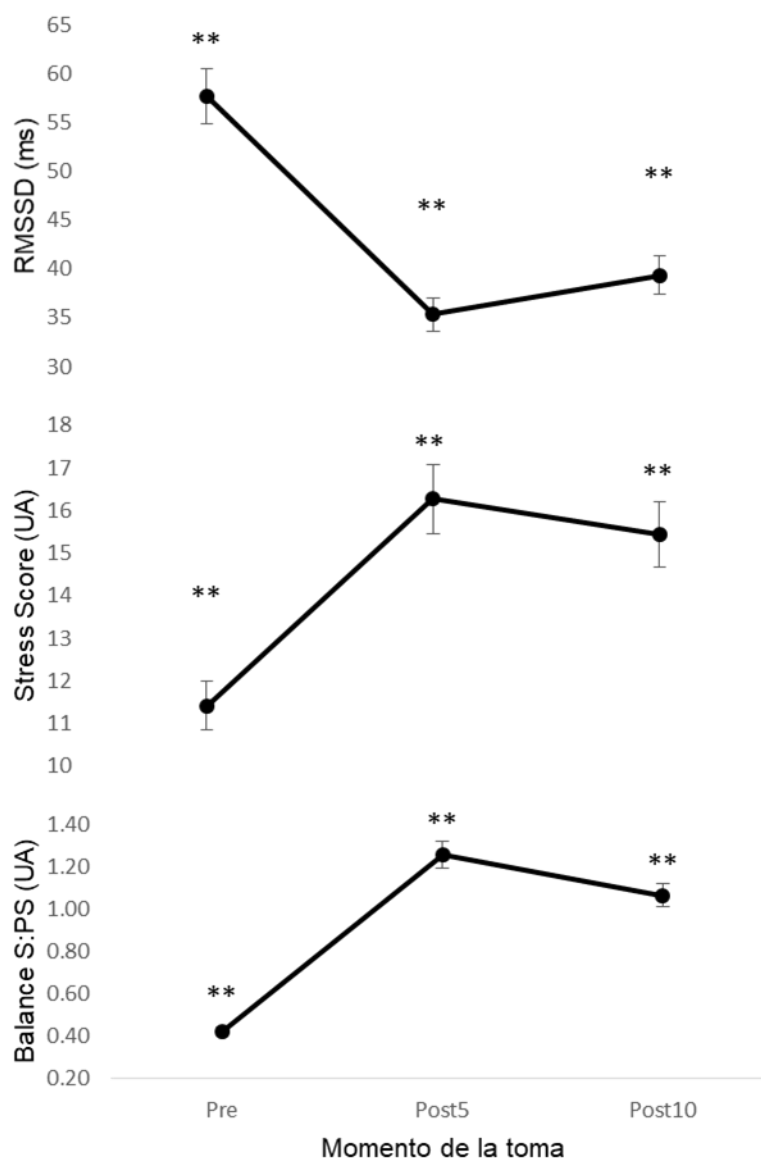


Figura 22. Comportamiento de los valores absolutos de RMSSD, Stress Score y balance simpático/parasimpático observados en Pre, Post5 y Post10.

**Diferencias con respecto a los otros dos momentos de toma de muestra a $p < .01$.

Con respecto al objetivo de relacionar los componentes de CI y la reducción de la VFC determinada por los valores normalizados entre Pre y Post5, encontramos que tiene relación significativa ($p < .01$) con la media de la FC y la media del %FCres de la sesión de manera negativa con RMSSD y positiva con Stress Score y balance S/PS (tabla 13). El análisis del ES nos indica que la reducción de la RMSSD se explica en un 14.21% por la FC promedio y un 15.9% por el promedio del porcentaje

Resultados

de la FCres. El análisis del ES nos indica que el aumento del SS se explica en un 12.6% por la FC promedio y en un 13.17% por el promedio del porcentaje de la FCres. En el caso del índice S/PS la FC promedio explica un 14.28% del aumento mientras que el promedio del porcentaje de la FCres explica un 15.6%.

No se encuentra ninguna relación entre la reducción de la VFC con minutos totales. Sin embargo, se presentan relaciones significativas ($p < .01$) con los minutos transcurridos por debajo del primer UL, por encima del segundo UL y minutos entre umbrales. La relación entre el volumen a intensidades por debajo del primer UL es positiva con índices parasimpáticos y negativa con el índice simpático y el balance S/PS. El análisis del ES muestra que el volumen de tiempo transcurrido por debajo del 1UL explica el 5.8% del aumento en la RMSSD y el 4.8% y 3.1% de la reducción de los índices SS y S/PS respectivamente. Por otra parte, el volumen de tiempo transcurrido por encima del 2UL explica el 3.6% de la disminución de la RMSSD y el 3.1% y 5.8% del aumento del SS y S/PS respectivamente. Los coeficientes de correlación se pueden observar en la tabla 13.

Tabla 13.

Coeficientes de correlación entre los parámetros de volumen e intensidad y valores normalizados relativos a Post5 de la VFC.

Valores normalizados relativos a Pre5	Intensidad		Minutos totales	Volumen		
	FC prom	Prom % FCres		< UL1	UL 1-2	> UL2
RMSSD	-.377**	-.399**	0.024	.241**	-0.37**	-.192**
SS	.355**	.363**	-0.008	-.221**	.363**	.177**
S/PS	.378**	.395**	0.086	-.178**	.428**	.242**

Nota.- UL1 = Primer umbral de lactato. UL2 = Segundo umbral de lactato.

**Coeficientes de correlación a $p < .01$.

Con respecto a la relación entre la CI y la recuperación de la VFC, encontramos que los componentes de volumen e intensidad de la carga de entrenamiento no presentaron relación entre los tiempos de Post5 y Post10, excepto en el caso de índice S/PS, el cual mostró relación negativa con la intensidad del ejercicio (Tabla 14). Sin embargo, el ES de esta recuperación atribuye sólo el 3.2%

Resultados

de la disminución del S/PS a la FC promedio y el 3.6% al promedio del porcentaje de la FCres.

Tabla 14.

Coeficientes de correlación entre los parámetros de volumen e intensidad y valores de recuperación entre Post5 y Post10 de la VFC.

Valores normalizados relativos a Pre5	Intensidad		Volumen			
	FC prom	Prom % FCres	Minutos totales	< UL1	UL 1-2	> UL2
RMSSD	-.03	-.00	-.04	-.01	-.05	-.01
SS	-.09	-.09	.03	.02	.01	.00
S/PS	-.18**	-.19**	.00	.07	-.12	-.09

Nota.- UL1 = Primer umbral de lactato. UL2 = Segundo umbral de lactato.

**Coeficientes de correlación a $p < .01$.

En el caso de la CI de entrenamiento medida por cuatro distintos métodos de TRIMP, los cuales integran la cuantificación tanto del volumen como la intensidad, observamos relaciones significativas ($p < .01$) de manera negativa con la RMSSD y positiva con el SS y el S/PS (Tabla 15).

Tabla 15.

Coeficientes de correlación entre los métodos de TRIMP y valores normalizados relativos a Post5 de la VFC.

Valores normalizados relativos a Pre5	bTRIMP	eTRIMP	iTRIMP	mTRIMP
RMSSD	-.348**	-.372**	-.332**	-.350**
SS	.344**	.359**	.328**	.336**
S/PS	.444**	.434**	.377**	.429**

**Coeficientes de correlación a $p < .01$.

El análisis del ES indica que bTRIMP, eTRIMP, iTRIMP y mTRIMP explican el 12.1%, 13.8%, 11.0% y 12.2% de la reducción de la RMSSD, el 11.8%, 12.8%, 10.7% y 11.2% del aumento del SS y el 19.7%, 18.8%, 14.2% y 18.4% del aumento del índice S/PS respectivamente.

Resultados

Con respecto a la recuperación de la VFC post ejercicio, ninguno de los índices simpático y parasimpático mostró relación con los métodos de TRIMP. Sin embargo, el balance S/PS mostró correlación negativa ($p < .05$) con eTRIMP, bTRIMP y mTRIMP, no siendo así con iTRIMP (Tabla 16). El ES de ésta relación indica que el bTRIMP, eTRIMP y mTRIMP explican sólo el 2.6%, 2.25% y 2.1% de la reducción del índice S/PS respectivamente.

Tabla 16.

Coeficientes de correlación entre los métodos de TRIMP y recuperación de la VFC entre Post5 y Post10.

Recuperación Post5-Post10	bTRIMP	eTRIMP	iTRIMP	mTRIMP
RMSSD	-.020	-.055	-.071	-.028
SS	-.045	-.039	-.019	-.030
S/PS	-.163*	-.150*	-.093	-.148*

*Coeficientes de correlación a $p < .05$.

Ninguna relación se encontró entre los parámetros de volumen e intensidad con respecto a la recuperación de la VFC en los tiempos de Post 5 a Post10.

Capítulo 4 Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar la relación de la VFC post ejercicio con la CE y CI en entrenamiento intermitente de un equipo juvenil selección estatal de hockey sobre pasto.

Las aportaciones principales de este estudio fueron a) Establecer el efecto del volumen del ejercicio por debajo del primer UL y por encima del segundo UL en la reducción de la VFC post ejercicio, b) Verificar la utilidad de distintos métodos de TRIMP basados en FC para cuantificar CI en deportes intermitentes y c) Proponer el mTRIMP como una metodología innovadora de cuantificación de CI que no requiere pruebas invasivas para su estimación.

Se ha encontrado en la literatura que el hockey es un deporte de carácter intermitente, ya que intercala de manera impredecible esfuerzos de alta, media y baja intensidad en periodos de tiempo que pueden considerarse de larga duración durante el transcurso de un partido o entrenamiento (Gabbett, 2010; Rampinini et al., 2015). Esta intermitencia se confirmó en nuestro estudio, tanto por los valores de acelerometría observados como por el análisis de las respuestas de FC durante los entrenamientos. Encontramos que los jugadores realizan de manera aleatoria esfuerzos de alta, media y baja intensidad. En la revisión de la literatura solamente encontramos valores de referencia de partidos oficiales en mujeres y hombres adultos a nivel internacional, sin embargo desconocemos publicaciones que analizan las demandas fisiológicas de las sesiones de entrenamiento en hockey. Nuestro estudio coincide con que los jugadores dedican la mayoría del tiempo a actividades de baja intensidad y muy poco tiempo en actividades de alta intensidad. No obstante, hay discrepancias en lo reportado sobre la proporción de los porcentajes de tiempo transcurridos en intensidades alta, media y baja en los juegos comparado con los entrenamientos. Los datos obtenidos en este estudio indican proporciones de $76.24 \pm 8.42\%$ para baja, $22.73 \pm 7.76\%$ para media y $1.04 \pm 0.81\%$ para alta intensidad en entrenamientos, mientras que en partidos internacionales de mujeres adultas se observaron porcentajes de $55.5 \pm 5.3\%$, $38.1 \pm 5.0\%$ y $4.9 \pm 1.4\%$ en baja, media y

alta intensidad respectivamente (Macutkiewicz & Sunderland, 2011) y porcentajes de 61.29%, 33.18% y 5.53% en baja, media y alta intensidad respectivamente en jugadores varoniles sub elite adultos (Buglione et al., 2013). Consideramos pertinente investigar si las discrepancias entre las proporciones en las acciones de alta, media y baja intensidad de entrenamientos y partidos tienen algún efecto en la preparación de los deportistas, aunque esto se encuentra fuera del alcance de este estudio.

Al hacer el análisis longitudinal, tanto de la CE como de la CI, podemos observar un comportamiento con carácter ondulatorio intercalando periodos de cargas altas y bajas. Aunque la dosificación del entrenamiento está fuera de los alcances del análisis de este estudio, pudimos observar que el comportamiento de las cargas corresponde a los métodos de periodización declarados en la literatura (Bompa & Claro, 2008; Issurin, 2008, 2010), que sostiene que los entrenadores deben de aplicar un estímulo de entrenamiento a los deportistas seguido de periodos de menor carga para provocar la súper-compensación (Banister, 1991).

Durante este estudio se pusieron a prueba cuatro distintos métodos de cuantificación del TRIMP. Se ha cuestionado el uso del TRIMP en deportes intermitentes, debido a la creencia de que la cinética de la FC se retrasa en ejercicios de alta intensidad y no responde bien a esfuerzos anaeróbicos máximos (Buchheit et al., 2013; García-ramos et al., 2014; Saboul et al., 2015), sin embargo, los resultados observados en este estudio contradicen esta postura. Hemos encontrado relación significativa entre las respuestas de la FC en valores absolutos de lat/min con valores de *“Carga del jugador”*. La literatura señala que existe una relación lineal de la FC con la intensidad de la CE (Lucia et al., 2003). Esto concuerda con nuestros resultados, ya que los valores de FC observados durante el entrenamiento seguían un comportamiento similar a la *“Carga del jugador”*. Al comparar las gráficas entre *“Carga del jugador”* y FC encontramos patrones casi idénticos. Esta relación se comprobó al evaluar el coeficiente de correlación entre los valores generales de carga de jugador y la sumatoria de los valores de la FC absoluta. Al analizar la correlación entre la CE y la FC individual de cada atleta encontramos mayores coeficientes de correlación. Esto comprueba lo referido en la literatura sobre que las

respuestas de FC ante la CE dependen de las características de cada individuo, particularmente su condición física (Manzi, Iellamo, et al., 2009). Lo anterior indica que las respuestas de FC durante un entrenamiento de hockey representan el esfuerzo externo que hacen los jugadores. Estos resultados sugieren que métodos de TRIMP basados en el análisis de la FC durante entrenamientos intermitente son adecuados para cuantificar la CI.

El método original de TRIMP propuesto por Banister utiliza un coeficiente de ponderación genérico para evaluar la intensidad del entrenamiento (Banister, 1991). El método más reciente de TRIMP propuesto por Manzi sostiene que la curva de LS contrastada con la elevación fraccional de la FCres se recorre hacia la derecha con la mejora de la capacidad de rendimiento del deportista (Manzi et al., 2010, 2013, 2015; Manzi, Castagna, et al., 2009; Manzi, Iellamo, et al., 2009). En este estudio se puso a prueba esta afirmación, ya que la FCres tiene un elemento de individualidad al tomar en cuenta la FCmin y la FCmax del sujeto, por lo que debería reflejar la intensidad singular del ejercicio. Sin embargo, nuestros resultados arrojaron coeficientes de ponderación individuales diferentes, por lo que las curvas de lactato muestran diferentes respuestas de concentración de LS en los distintos rangos de FCres. Esto confirma lo propuesto primeramente por Stagno et al. (2007) y posteriormente por Manzi et al. (2010; 2009). Estos hallazgos nos hacen pensar que tomar en cuenta sólo la FCres no es un indicador real de la intensidad del ejercicio y que los entrenadores deberían considerar las respuestas de LS al evaluar la FC en los entrenamientos.

En la revisión de la literatura encontramos métodos de TRIMP con coeficientes basados en el comportamiento del LS en una prueba incremental con valores genéricos (Banister, 1991), calculados con base en un promedio grupal (Stagno et al., 2007) o de manera individual (Manzi, Castagna, et al., 2009). Al hacer una comparativa con los coeficientes reportados descubrimos que las respuestas de LS de los sujetos que participaron en este estudio son considerablemente más altas. Eso se puede explicar por las edades de los sujetos, ya que los participantes de los estudios publicados eran adultos, mientras que los sujetos de este estudio fueron

adolescentes y se ha demostrado que en estas poblaciones las respuestas de LS son más altas (Tanaka, 1986).

Hay estudios que han comparado diferencias de CE entre tipos de ejercicios (Montgomery et al., 2010; Weaving et al., 2017), en diferentes periodos de un partido y las diferencias en CE entre equipos de alto y bajo éxito (Hulin et al., 2014), también entre los entrenamientos y las competencias (Delaney et al., 2016), con valores de CI (Casamichana et al., 2013; Scanlan et al., 2014). En estos estudios se han analizado valores medios de grupos, pero hasta donde nosotros sabemos, no existen estudios que hayan analizado las diferencias en CE entre sujetos sometidos a las mismas sesiones de entrenamiento. Los datos obtenidos demuestran que aunque los sujetos que participaron en el estudio llevaron a cabo las mismas sesiones de entrenamiento, los valores de *“Carga del jugador”* que arrojaron cada uno fueron diferentes. Los resultados nos sugieren que los jugadores no tienen la misma demanda física externa durante los entrenamientos. Los resultados indican que en una misma sesión de entrenamiento las actividades de distintos jugadores son diferentes. Esto va de acuerdo al principio de individualización de las cargas de entrenamiento y puede ser que refleje el trabajo especializado entre distintas posiciones de juego. Esto abre una nueva línea de análisis en función de si las diferencias de la CE observada tienen efecto negativo con respecto a la magnitud del estímulo necesario para generar las adaptaciones al entrenamiento.

Estudios anteriores (Borresen & Lambert, 2008, 2009; Lambert & Borresen, 2010; Mujika, 2017) sostienen que cuando se somete a varios sujetos a la misma CE, es posible encontrar respuestas internas diferenciadas dependiendo de las características individuales y el nivel de acondicionamiento. Los datos muestran que aunque los sujetos participaron en las mismas sesiones de entrenamiento, existen diferencias significativas en la magnitud de la CI, esto concuerda con lo revisado en la literatura. Las diferencias tuvieron grandes tamaños de efecto, la explicación más viable es que aunque los sujetos participaron en las mismas sesiones de entrenamiento, los valores entre-sujeto de CE, tanto absolutos como relativos, fueron diferentes. También se puede explicar a que los sujetos jugaban distintas posiciones

en el campo, incluyendo dos porteros. Aunque este estudio no hizo un análisis entre posiciones de juego durante los entrenamientos, estudios anteriores han reportado que la posición de juego tiene un efecto significativo en las respuestas fisiológicas (Buglione et al., 2013). Otra explicación puede ser las diferencias observadas en los niveles de capacidad aeróbica expresado en VO_2max , el cual fue calculado con pruebas de campo (Buchheit, 2010b) previo al inicio del estudio.

Los resultados nos indican que el bTRIMP arroja valores significativamente más bajos que el resto de los métodos. Por el contrario, el iTRIMP arroja valores significativamente más altos. No se observaron diferencias significativas entre los valores arrojados por los métodos de eTRIMP y mTRIMP. Aunque no menciona datos descriptivos, Scanlan et al. (2014) coincide con este estudio reportando valores menores del bTRIMP comparado con eTRIMP. Taylor et al. (2017) reportan en jugadores de Rugby Union valores medios por sesión de bTRIMP, eTRIMP e iTRIMP de 271 ± 97 , 360 ± 104 y 479 ± 199 respectivamente, lo que también coincide con este estudio. Por otra parte, Sanders et al. (2017) reportan valores en 10 semanas de entrenamiento de ciclistas de iTRIMP, bTRIMP y eTRIMP de 1090 ± 220 , 891 ± 200 y 729 ± 193 , teniendo la discrepancia de arrojar valores de eTRIMP más bajos. Aoki et al. (2016) compararon valores de bTRIMP significativamente más bajos que valores de eTRIMP en jugadores de baloncesto.

Los valores significativamente más bajos del bTRIMP sugieren que este método subestima el estímulo de entrenamiento. La razón de este fenómeno puede ser la utilización del promedio de la FCres de la sesión (Banister, 1991), provocando que entrenamientos continuos de mediana intensidad sean equivalentes a entrenamientos interválicos con periodos y alta y baja intensidad que tienen el mismo promedio de FCres (Saboul et al., 2015). El mTRIMP, que toma en cuenta cada uno de los valores de FC, pondera el aporte de los ejercicios de alta intensidad y arroja valores más altos, aunque los dos métodos utilizan el mismo factor de ponderación. Al contrastar los valores de mTRIMP podemos confirmar que el bTRIMP subestima la carga, especialmente en ejercicios intermitentes y por intervalos.

El eTRIMP clasifica los valores de FC en zonas compuestas por puntos porcentuales de la FCmax (Edwards, 1994). El tiempo en minutos que el deportista transcurre en cada zona es multiplicado por un coeficiente de ponderación arbitrario. Aunque no se encontraron diferencias entre las medias de los valores del eTRIMP y mTRIMP, los resultados del gráfico de Bland y Altman indican que no hay concordancia entre los métodos. Esto parece indicar que aunque el utilizar zonas de entrenamiento es más apropiado que promediar los valores de la sesión, el tomar en cuenta cada valor de FC observado previene una posible sobreestimación o subestimación de la CI cuando los valores se encuentran muy cercanos a los límites de las zonas de entrenamiento del eTRIMP.

Hay estudios que proponen que en deportes de conjunto, debido a que los ejercicios se aplican en forma grupal, la CE puede ser similar entre los sujetos, sin embargo, se observaron respuestas diferenciadas entre los jugadores (Manzi et al., 2010). Contrario a esta afirmación, los métodos de TRIMP con factor de ponderación genérico (bTRIMP, eTRIMP y mTRIMP) no mostraron una gran variabilidad entre sujetos. Por otra parte, los valores de iTRIMP mostraron gran variabilidad entre sujetos, lo que se evidencia por los altos valores de desviación estándar. Esto está en concordancia con otro estudio en deportes de conjunto (Akubat et al., 2012), quienes reportaron una alta variabilidad en iTRIMP en jugadores de fútbol soccer. Esto confirma que el iTRIMP es más sensible a las diferentes respuestas individuales a la CE. Por lo anterior, se puede pensar que el iTRIMP es adecuado para evaluar CI en deportes de conjunto, como se ha propuesto anteriormente (Akubat et al., 2014, 2012; Castagna et al., 2013; Malone & Collins, 2016).

A pesar de las diferencias en los valores que arrojan los distintos métodos, los resultados muestran altos coeficientes de correlación entre ellos, lo que indica que tienen el mismo comportamiento en respuesta a la CE. Esto insinúa que cualquiera de los métodos representa una herramienta útil para el análisis de la CI, ya que los resultados se expresan en unidades arbitrarias. El iTRIMP es el que refleja de manera más precisa las respuestas de los sujetos, pero en consideración de lo anterior, si no se tiene acceso a instalaciones de laboratorio, personal especializado

y a los insumos de reactivos y equipamiento necesarios para hacer la evaluación de perfiles de LS en los deportistas, se considera adecuado utilizar los otros métodos como alternativas viables.

Los resultados obtenidos coinciden con Scanlan et al. (2014), quienes establecen que el TRIMP tiene relación con la “*Carga del jugador*” en los métodos de Banister y Edwards. Aunque no tenemos un referente de iTRIMP con “*Carga de jugador*”, este presenta un coeficiente de correlación más bajo que el resto de los métodos. Este es el resultado esperado, ya que el análisis se hizo incluyendo a todos los sujetos en la muestra. El tener coeficientes de ponderación tan distintos provoca respuestas diferenciadas de cada sujeto a la CE, lo que provoca que el coeficiente de correlación general sea menor. Al contrario con los demás métodos, que al tener el mismo coeficiente de ponderación para todos los sujetos presentan relaciones más consistentes.

Se ha reportado que el iTRIMP es adecuado para el seguimiento de cargas de entrenamiento en deportes de conjunto en estudios longitudinales (Malone & Collins, 2016), ya que los valores semanales de iTRIMP muestran una alta correlación con las ganancias en variables fisiológicas de tipo aeróbicas. Esto consolida la idea de que se debe adoptar un acercamiento lo más individualizado posible cuando se dosifica la CI de entrenamiento. Aunque en deportes de conjunto se debe tener cuidado al definir la capacidad de rendimiento, ya que en competencia es prácticamente imposible determinarlo, debido a la influencia del nivel de juego del contrario y a otros elementos de carácter técnico-táctico, por lo que la mayoría de los estudios relacionan los valores de iTRIMP con mejoras en el rendimiento en pruebas de capacidad física de campo o de laboratorio (Manzi et al., 2010, 2013, 2009; Stagno et al., 2007).

Se dice que el estrés fisiológico que representa el entrenamiento deportivo provoca una reducción en la VFC inmediatamente post ejercicio (Kaikkonen et al., 2010; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014; Saboul et al., 2015) y que estos valores se recuperan hacia línea de base al transcurrir el tiempo de recuperación (Kaikkonen et al., 2012; Martinmäki & Rusko, 2008; Seiler et al., 2007). Los estudios

que analizan este fenómeno se basan en el comportamiento de índices parasimpáticos de la VFC, en particular la RMSSD (Saboul et al., 2015). En este estudio analizamos el comportamiento del SS como un nuevo índice de VFC (Naranjo et al., 2015) indicador del sistema simpático que, hasta donde nosotros sabemos, no ha sido explorado en este tipo de diseños. Además, con este índice se puede evaluar el comportamiento en respuesta al ejercicio del balance S/PS (Naranjo et al., 2015).

Nuestros resultados concuerdan con los estudios que sostienen que el ejercicio provoca una disminución de la VFC inmediatamente post ejercicio (Kaikkonen et al., 2010; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014; Saboul et al., 2015), al encontrar diferencias significativas entre los valores Pre5 y Post5 en los índices RMSSD, SS y S/PS, tanto en general como individual. Sin embargo, la recuperación de la VFC entre Post5 y post10 no es tan clara. Varios estudios proponen que la recuperación de la VFC post ejercicio es un indicador de la recuperación del balance autónomo y puede reflejar la CI de entrenamiento (Kaikkonen et al., 2012; Martinmäki & Rusko, 2008; Seiler et al., 2007). Nuestros resultados generales muestran una recuperación de la VFC en el tiempo de recuperación entre Post5 y post10 ($p < .01$). No obstante, al hacer un análisis individual esta recuperación muestra un comportamiento inconsistente. Encontramos que solamente cinco de los once sujetos mostraron una recuperación en la RMSSD y dos en SS y S/PS. Esto da la idea de que la recuperación de la VFC post ejercicio tiene que ver con las características individuales de los sujetos, lo que concuerda con lo declarado por Seiler (2007).

Se piensa que la reducción de la VFC post ejercicio está mediada por la intensidad y no tiene relación con el volumen del ejercicio (Kaikkonen et al., 2010; Plews, Laursen, Kilding, & Buchheit, 2014; Saboul et al., 2015). Nuestros resultados parecen confirmar esto, ya que la intensidad en general, considerada como la media de la FC y el %FCres, está relacionada significativamente a la reducción de la VFC en Post5 y no se encontró relación con el volumen considerado como el tiempo total de la sesión de entrenamiento. Sin embargo, creemos que estos datos pueden ser

segados, porque la literatura encontrada solo hace comparaciones de volúmenes a bajas intensidades, pero hasta donde conocemos no se han comparado volúmenes a intensidades altas.

Se ha propuesto que el entrenamiento por debajo del primer umbral de lactato mantiene o aumenta la VFC, por el contrario, entrenar por encima del segundo umbral de lactato reduce significativamente la VFC post ejercicio y que entrenar entre ambos umbrales no refleja un relación directa con el comportamiento de la VFC post ejercicio (Plews et al., 2014). También se ha mencionado que el primer umbral ventilatorio es el punto de quiebre del entrenamiento para empezar a observar reducciones en la VFC (Seiler et al., 2007). Según nuestros resultados, la VFC Post5 está negativamente relacionada con el tiempo de entrenamiento transcurrido por encima del segundo umbral ventilatorio y positivamente relacionada con el tiempo transcurrido por debajo del primer umbral ventilatorio, lo que concuerda con lo reportado sobre entrenamiento en umbrales, sin embargo, también se encontró correlación negativa con el tiempo que se transcurre entre el primer y segundo umbral de lactato, confirmando que el punto de quiebre es el primer umbral y contradiciendo que no existe correlación con la reducción de la VFC en estas intensidades. Se ha establecido que una de las explicaciones de la reducción de la VFC está relacionada con que las altas concentraciones de LS disparan reflejos metabólicos que producen un retiro parasimpático y un aumento de la actividad simpática (Michael, Jay, Halaki, Graham, & Davis, 2017).

Esto tendría relación con la teoría de los umbrales, ya que el entrenamiento por debajo del primer umbral tiene un aporte energético predominantemente del sistema aeróbico, lo que resulta en concentraciones de LS iguales a las de reposo (Plews et al., 2014). El entrenamiento llevado a cabo entre el primer y segundo umbral de lactato se hace con aporte energético en combinación de sistemas aeróbicos y anaeróbicos lácticos, lo que eleva las concentraciones de LS por encima de los valores de línea de base, pero manteniendo un estado estable al igualar el ritmo de producción de LS con el de eliminación (Plews et al., 2014). Cuando se entrena por encima del segundo umbral la acumulación de LS sigue una tendencia

exponencial, por lo que mantener esfuerzos a estas intensidades provocará grandes concentraciones de LS (Faude et al., 2009). Lo anterior establece que el volumen tiene un efecto en la reducción de la VFC, siempre y cuando se tome en cuenta el umbral de lactato al que este volumen es llevado a cabo.

En un estudio hecho con corredores recreacionales adultos se encontró que el bTRIMP no presenta relación con la VFC post ejercicio, por lo que en este ejercicio individual de carácter continuo no se aconseja no utilizar la VFC post ejercicio para cuantificar la carga de entrenamiento (Kaikkonen et al., 2012). Sin embargo, en los resultados con jugadores de hockey sobre pasto de este estudio se encontraron relaciones significativas ($p < .01$) entre los cuatro métodos de TRIMP y la VFC en Post5, tanto en RMSSD, SS y S/PS. La magnitud de las relaciones y tamaño de efecto no son muy altos, esto se explica considerando que el TRIMP integra el volumen y la intensidad en un solo valor y ya se ha establecido que ambos valores afectan esta relación de manera diferente. Pese a esto, los resultados no permiten generar una herramienta confiable para cuantificar la carga de entrenamiento, por lo que se requiere estudiar el fenómeno a más profundidad.

Se ha reportado que la recuperación de la VFC post ejercicio está determinada por una reducción simpática y un aumento de actividad parasimpática (Kaikkonen et al., 2012; Saboul et al., 2015). Se ha dicho que esta recuperación también está relacionada con la intensidad del ejercicio y no con el volumen (Kaikkonen et al., 2010, 2012). Se ha presentado datos que sugieren que la contribución anaeróbica y otros factores asociados con un alto nivel de reclutamiento de fibras rápidas (comando central de stress, catecolaminas, liberación de co-transmisor simpático y acumulación de lactato y H+) son de importancia primordial al determinar el nivel de reactivación parasimpática después de ejercicios de alta intensidad (Buchheit, Laursen, & Ahmaidi, 2007). Nuestros resultados contradicen esta postura, ya que no muestran relación alguna entre los componentes de volumen e intensidad de la carga con ninguno de los índices de recuperación de VFC. Cuando se compara la recuperación de la VFC con el TRIMP, observamos bajos coeficientes de correlación únicamente con bTRIMP, eTRIMP y mTRIMP y el índice de S/PS,

pero no con el iTRIMP. Tampoco se encontró relación significativa con ninguno de los métodos de TRIMP y los índices de RMSSD o SS. Esto parece indicar que no se puede evaluar el efecto del ejercicio en la recuperación del SNA desde los puntos de vista simpático o parasimpático por separado, sino que se debe tomar en cuenta la interacción de estos sistemas. En general, los coeficientes son tan bajos que no permiten sacar conclusiones concluyentes con respecto a esta relación. El hecho de que el iTRIMP no presente relación significativa con la recuperación de la VFC parece apoyar que este fenómeno no depende del ejercicio en sí ni de sus componentes, sino con las características individuales de cada sujeto (Seiler et al., 2007).

Una de las principales limitaciones de este estudio es la falta de post prueba del desempeño físico de los sujetos. Si se pudieran contrastar la CE y CI de entrenamiento con las mejora en la condición física se aportaría una explicación del comportamiento de los componentes de *fitness* y fatiga en el periodo de entrenamiento.

Otra limitación es la falta de seguimiento del método de periodización utilizado por los entrenadores del estudio. Al ser un estudio no experimental meramente observacional, los investigadores no tuvimos la oportunidad de manipular la variable independiente de la carga de entrenamiento para evaluar las distintas respuestas fisiológicas del organismo, en particular la modulación autónoma en sus ramas simpática y parasimpática.

Adicionalmente, tenemos la limitación de no haber monitoreado la VFC en estado de reposo (basal). Este indicador nos hubiera indicado el efecto fisiológico del TRIMP en el estado del SNA a mediano plazo y pudiéramos confirmar los umbrales de recuperación del deportista, confirmando si las cargas de entrenamiento dosificadas por los entrenadores realmente cumplen con los objetivos de la periodización.

Por otra parte, como parte de los objetivos del estudio, fue importante no utilizar herramientas invasivas de evaluación del entrenamiento, por este motivo, no se midieron bio-marcadores sanguíneos post-entrenamiento. En particular, este

estudio presenta las bases para que en un estudio futuro se puedan comparar las respuestas autónomas post ejercicio con las hormonas representativas del sistema simpático (catecolaminas), cortisol y testosterona para ver estado anabólico y catabólico del organismo y otros bio-marcadores enzimáticos como creatina quinasa para verificar la intensidad y el daño muscular, así como la urea en orina para verificar si el volumen de entrenamiento involucra el metabolismo de amino-ácidos.

Aunque el estudio ofrece una fundamentación para el uso de la metodología del TRIMP en deportes de carga intermitente y se ha demostrado la relación significativa entre la CE impuesta por los entrenamientos del hockey, éstos métodos sostienen que el nivel de concentración de LS refleja el estrés fisiológico del organismo, pero hasta donde nosotros conocemos, no se ha comprobado esta relación. El siguiente paso en esta línea de investigación es explorar si el bio-marcador de concentración de LS refleja realmente el estado de estrés fisiológico impuesto en el organismo por la intensidad del entrenamiento.

Conclusiones

Las respuestas de FC durante el entrenamiento de un deporte de carga intermitente, como el hockey sobre pasto, está estrechamente relacionada con la CE, tanto en estímulos de alta como baja intensidad, lo que permite utilizar métodos de cálculo de TRIMP basados en FC para la evaluación y cuantificación de la CI en este tipo de disciplinas.

Pensamos que el bTRIMP subestima la respuesta interna a la carga de entrenamiento. El método de eTRIMP y la nueva propuesta de mTRIMP representan de manera más precisa las respuestas generales comparado con la metodología de Banister. Sin embargo, el iTRIMP es el que mejor refleja las respuestas individuales a la CE de entrenamiento.

Aunque es altamente recomendable utilizar el iTRIMP para cuantificar CI, el mTRIMP puede ser una opción válida cuando no se tiene acceso a realizar pruebas de determinación del perfil de LS en esfuerzo incremental de los deportistas.

El TRIMP, en cualquiera de sus métodos de cuantificación, está relacionado con la disminución de la VFC inmediata post ejercicio. Cuando se fracciona la carga de entrenamiento en sus componentes de volumen e intensidad se comprueban tres conceptos: a) La intensidad está estrechamente relacionada con la disminución de la VFC post ejercicio, b) El volumen en general no tiene relación con la reducción de la VFC y c) El volumen en minutos transcurridos por debajo del primer UL y por encima del segundo UL está relacionado con los valores de VFC post ejercicio.

La recuperación de la VFC en los tiempos entre 5 y 10 minutos post ejercicio no aporta información suficiente para evaluar la carga de entrenamiento ni de sus componentes de volumen o intensidad utilizando sólo índices parasimpáticos o sólo índices simpáticos, el balance simpático/parasimpático parece aportar información más válida. Este fenómeno depende de las características individuales de estado físico de los deportistas.

Aunque no se ha encontrado un estándar de oro para la cuantificación de CI en deportes intermitentes, los valores post ejercicio de reducción de la VFC pueden ser un indicador complementario que aporte información importante a los entrenadores sobre el estado de estrés del SNA impuesto por las cargas de entrenamiento.

Referencias

- Abdelkrim, N. Ben, Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., Fazaa, S. El, & Ati, J. El. (2010). Activity Profile and Physiological Requirements of Junior Elite Basketball Players in Relation to Aerobic-Anaerobic Fitness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2330–2342.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e381c1>
- Abdelkrim, N. Ben, Fazaa, S. El, & Ati, J. El. (2007). Time-motion analysis and physiological data of elite under-19 year old basketball players during competition. *British Journal of Sports Medicine*, 41(2), 69–75.
<http://doi.org/10.1136/bjsm.2006.032318>
- Acero, R., Seirul-lo, F., Lago, C., & Lalin, C. (2013). Causas Objetivas de Planificación en Deportes de Equipo (I): Estado de Forma y Calendarios. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 27(1), 1–19.
- Ackel-Delia, C., Vancini, I. R. L., Castelo, I. I. A., Viviane, I. I. I., Andre, L., & Carlos, A. (2010). Absence of the predisposing factors and signs and symptoms usually associated with overreaching and overtraining in physical fitness centers. *Clinics*, 65(11), 1161–1166. <http://doi.org/10.1590/S1807-59322010001100019>
- Akubat, I., & Abt, G. (2011). Intermittent exercise alters the heart rate-blood lactate relationship used for calculating the training impulse (TRIMP) in team sport players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 249–253.
<http://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.12.003>
- Akubat, I., Barrett, S., & Abt, G. (2014). Integrating the Internal and External Training Load in Soccer. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 9(3), 457–462. <http://doi.org/10.1123/IJSP.2012-0347>
- Akubat, I., Patel, E., Barrett, S., & Abt, G. (2012). Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 30(14), 1473–1480.
<http://doi.org/10.1080/02640414.2012.712711>
- Alexiou, H., & Coutts, A. J. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3), 320–330.
<http://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.3.3.320>
- Algrøy, E. A., Hetlelid, K. J., Seiler, S., & Pedersen, J. I. S. (2011). Quantifying Training Intensity Distribution in a Group of Norwegian Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 70–81. <http://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.70>
- Andersson, H., Randers, M., Heiner-Moller, A., Krstrup, P., & Mohr, M. (2010). Elite Female Soccer Players Perform More High-Intensity Running When Playing in International Games Compared With Domestic League Games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 912–919.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09f21>
- Aoki, M. S., Torres Ronda, L., Marcelino, P. R., Drago, G., Carling, C., Bradley, P. S., & Moreira, A. (2016). Monitoring training loads in professional basketball players engaged in a periodized training programme. *Journal of Strength and*

- Conditioning Research*, 31(2), 348–358.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001507>
- Arjol, J. L. (2012). La Planificación Actual del Entrenamiento en Fútbol: Análisis Comparado del Enfoque Estructurado y la Periodización Táctica. *Acción Motriz*, 2(8), 27–37.
- Balague, N., Torrents, C., Hristovski, R., Davids, K., & Araújo, D. (2013). Overview of Complex Systems in Sports. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 4–13. <http://doi.org/10.1007/s11424-013-2285-0>
- Banister, E. W. (1991). *Modeling Elite Athletic Performance*. (J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Green, Eds.) *Physiological Testing of Elite Athletes* (2nd ed.). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Bara Filho, M. G., de Andrade, F. C., Nogueira, R. A., & Nakamura, F. Y. (2013). Comparison of different Methods of Internal Load Control in Volleyball Players. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 19(2), 143–146.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922013000200015>
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Ed, M., Bellon, C. R., Taber, C. B., & Stone, M. H. (2015). Theory to Practice Strength Training for Endurance Athletes : Theory to Practice. *Strength & Conditioning Journal*, 37(2), 1–12.
<http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000131>
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood Lactate Diagnostics in Exercise Testing and Training, 8–24.
- Bompa, T., & Claro, F. (2008). *Periodization in rugby*. Meyer & Meyer.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Quantifying Training Load : A Comparison of Subjective and Objective Methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16–30.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The Quantification of Training Load , the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50(2), 273–282.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., & Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor overreaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 709–714.
- Botek, M., Mckune, A. J., Krejci, J., Stejskal, P., & Gaba, A. (2014). Change in Performance in Response to Training Load Adjustment Based on Autonomic Activity. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 482–488.
<http://doi.org/10.1055/s-0033-1354385>
- Boullosa, D. A., & Abreu, L. (2013). Do Olympic Athletes Train as in the Paleolithic Era ?, 909–917. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0086-1>
- Boullosa, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Muñoz, V. E., Domínguez, E., & Leicht, A. S. (2013). Cardiac Autonomic Adaptations in Elite Spanish Soccer Players During Preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 400–409.
- Bravo, C. A. (2006). *Evaluación del Rendimiento Físico* (Primera). Armenia, Colombia: Editorial Kinesis.

- Breil, F., Weber, S., Koller, S., Hoppeler, H., & Vogt, M. (2015). Block training periodization in alpine skiing : effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *European Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1077–1086. <http://doi.org/10.1007/s00421-010-1455-1>
- Brooks, G. A. (2009). Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *Journal of Physiology*, 587(23), 5591–5600. <http://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.178350>
- Buchheit, M. (2010a). The 30-15 Intermittent Fitness Test : 10 year review. *Myorobie Journal*, 1(Top 14), 1–9.
- Buchheit, M. (2010b). The 30-15 Intermittent Fitness Test : 10 year review. *Myorobie Journal*, 1(9), 278.
- Buchheit, M. (2013). Evaluating Training Adaptation with Heart Rate Measures : A Methodological Comparison . Evaluating Training Adaptation With Heart-Rate Measures : A Methodological Comparison, (August 2015).
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures : Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1153–1167. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Buchheit, M., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), 133–141. <http://doi.org/10.1152/ajpheart.00062.2007>.
- Buchheit, M., Millet, G. P., Parisy, A., Pourchez, S., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2008). Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 362–371. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aa2ee>
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ... Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550–555. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.003>
- Buchheit, M., Spencer, M., & Ahmaidi, S. (2010). Reliability , Usefulness , and Validity of a Repeated Sprint and Jump Ability Test. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 5(1), 3–17.
- Buglione, A., Ruscello, B., Milia, R., Migliaccio, G. M., Granatelli, G., & D'Ottavio, S. (2013). Physical and Physiological demands of elite and sub-elite Field Hockey players. *International Journal of Performance in Sport*, 13(3), 872–884.
- Busso, T., & Thomas, L. (2006). Using Mathematical Modeling in Training Planning, 400–405.
- Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance: Culprit or friend? *Sports Medicine*, 36(4), 279–291. <http://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00001>
- Campos-Vazquez, M., Toscano-Bendala, F., Mora-Ferrera, J., & Suarez-Arrones, L. (2017). Relationship Between Internal Load Indicators And Changes On

- Intermittent Performance After The Preseason In Professional Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1477–1485.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001613>
- Canovas, M., Arias, J. L., García, P., & Yuste, J. L. (2014). Time-Motion Analysis Procedure in Team Sports : Example for Youth Basketball. *Strength & Conditioning Journal*, 36(3), 71–75.
<http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000061>
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 369–374.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182548af1>
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chauachi, A., & Manzi, V. (2013). Pre-Season Variations in Aerobic Fitness and Performance in Elite Standard Soccer Players: a Team-Study. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 0–23.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828d61a8>
- Cervantes, J., Rodas, G., & Capdevila, L. (2009). Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21(4), 531–536.
- Chalencon, S., Thierry, B., Jean-René, L., Martin, G., Vincent, P., Philippe, C., ... Jean Claude, B. (2012). A Model for the Training Effects in Swimming Demonstrates a Strong Relationship between Parasympathetic Activity , Performance and Index of Fatigue. *PLoS ONE*, 7(12), 1–10.
<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0052636>
- Chandola, T., Heraclides, A., & Kumari, M. (2011). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(1), 51–57.
<http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.11.005>
- Chen, J.-L., Yeh, D.-P., Lee, J.-P., Chen, C.-Y., Huang, C.-Y., Lee, S.-D., ... Kuo, C.-H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1546–1552.
- Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H. A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 13(7), 518–522.
<http://doi.org/10.1055/s-2007-1021309>
- Christian, D. (2015). Dermination of blood lactate training zone boundaries with rating of perceived exertion in runners, (FEBRUARY).
- Conte, D., Favero, T., Lupo, C., Francioni, F. M., Capranica, L., & Tessitore, A. (2015). Time-Motion Analysis of Italian Elite Women's Basketball Games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 144–150.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000633>
- Coutts, A. J., Rampinini, E., Marcora, S. M., Castagna, C., & Impellizzeri, M. F. (2015). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 79–84. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.005>
- Daanen, H. A. M., Lamberts, R. P., Kallen, V. L., Jin, A., & Meeteren, N. L. U. Van. (2012). A Systematic Review on Heart-Rate Recovery to Monitor Changes in

- Training Status in Athletes, 251–260.
- De Lima, C., Boullosa, D. A., Frollini, A. B., Donatto, F., Leite, R. D., Gonelli, P. R. G., ... Cesar, M. C. (2012). Linear and Daily Undulating Resistance Training Periodizations Have Differential Beneficial Effects in Young Sedentary Women. *International Journal of Sports Medicine*, 33(9), 723–727. <http://doi.org/10.1055/s-0032-1306324>
- De Sousa, N. M. F., Magosso, R. F., Pereira, G. B., Leite, R. D., Arakelian, V. M., Montagnolli, A. N., ... Baldissera, V. (2011). The measurement of lactate threshold in resistance exercise: A comparison of methods. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(5), 376–381. <http://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01027.x>
- Delaney, J., Duthie, G., Thornton, H., Scott, T., Gay, D., & Dascombe, B. (2016). Acceleration-Based Running Intensities of Professional Rugby League Match-Play. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 11(6), 802–809. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0012>
- Deweese, B. H., Hornsby, G., Stone, M., & Stone, M. H. (2015). The training process : Planning for strength – power training in track and field . Part 1 : Theoretical aspects. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 308–317. <http://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.003>
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 523–525. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.07.003>
- Dupuy, O., Lussier, M., Fraser, S., Bherer, L., Audiffren, M., & Bosquet, L. (2012). Effect of overreaching on cognitive performance and related cardiac autonomic control. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 234–242. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01465.x>
- Edwards, D. A., Wetzel, K., & Wyner, D. R. (2006). Intercollegiate soccer : Saliva cortisol and testosterone are elevated during competition , and testosterone is related to status and social connectedness with teammates, 87, 135–143. <http://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.09.007>
- Edwards, S. (1994). The heart rate monitor book. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(5), 647.
- Esteve-lanao, J., Foster, C., Seiler, S., & Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 943–949.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469–490.
- Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H., & Banister, E. W. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 1151–1158.
- Flatt, A. A., Esco, M., Nakamura, F. Y., & Plews, D. J. (2017). Interpreting Daily Heart Rate Variability Changes in Collegiate Female Soccer Players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(6), 907–915. <http://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06322-2>
- Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2016). Evaluating Individual Training Adaptation With

- Smartphone-Derived Heart Rate Variability in a Collegiate Female Soccer Team. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(2), 378–385.
- Fleck, S. J. (2011). Non-Linear Periodization for General Fitness & Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 29, 41–45. <http://doi.org/10.2478/v10078-011-0057-2>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrov, L. A., Suzanne, P., ... Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
- Gabbett, T. J. (2010). GPS Analysis of Elite women's Field Hockey Training and Competition. *Journal of Strength and Conditioning Research Conditioning Research*, 24(5), 1321–1324.
- García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., & Izquierdo, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99–107. <http://doi.org/10.1007/s00421-010-1484-9>
- García-ramos, A., Feriche, B., Calderón, C., Iglesias, X., Barrero, A., Chaverri, D., ... Rodríguez, F. A. (2014). Training load quantification in elite swimmers using a modified version of the training impulse method. *European Journal of Sport Science*, 15(2), 85–93. <http://doi.org/10.1080/17461391.2014.922621>
- Giles, D., Draper, N., & Neil, W. (2016). Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 563–571. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3303-9>
- Guellich, A., Seiler, S., & Emrich, E. (2009). Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 4(4), 448 – 460.
- Haddad, H. Al, Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., Buchheit, M., & Recherche, L. De. (2011). Reliability of Resting and Postexercise Heart Rate Measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598–605. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- Hall, M., Rajasekaran, S., Thomsen, T., & Peterson, A. (2016). Lactate: Friend or Foe. *PM and R*, 8(3), S8–S15. <http://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.10.018>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139–147.
- Harries, S., Lubans, D., & Callister, R. (2015). Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 1113–1125. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000712>
- Hartmann, H., Bob, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2009). Effects of Different Periodization Models on Rate and Force Development and Power Ability of the Upper Extremity. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 23(7), 1921–1932.
- Hellard, P., Avalos, M., Hausswirth, C., Pyne, D., Toussaint, J. F., & Mujika, I. (2013). Identifying optimal overload and taper in elite swimmers over time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(4), 668–678.
- Herman, L., Foster, C., Maher, M. A., Mikat, R. P., & Porcari, J. P. (2006). Validity and reliability of the session RPE method for monitoring exercise training intensity. *South African Journal of Sports Medicine*, 18(1), 14–17.

- Howatson, G., & Van Someren, K. (2008). The Prevention and Treatment of Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports Medicine*, 38(6), 483–503. <http://doi.org/10.2165/00007256-200838060-00004>
- Hulin, B., Gabbett, T., Kearney, S., & Corvo, A. (2014). Physical demands of match-play in successful and less-successful elite rugby league teams, 10(6), 703–710.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583–592. <http://doi.org/10.1080/02640410400021278>
- Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 65–75.
- Issurin, V. (2010). New horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization. *Sports Medicine*, 40(3), 189–206.
- Jennings, D. H., Cormack, S. J., Coutts, A. J., & Aughey, R. J. (2012). International Field Hockey Players Perform More High-Speed Running Than National-Level Counterparts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 947–952.
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, H., & Poole, D. (2010). Critical Power: Implications for Determination of $\dot{V}O_{2\max}$ and Exercise Tolerance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1876–1890. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f>
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 435–442. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1240-1>
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 829–838. <http://doi.org/10.1007/s00421-011-2031-z>
- Kaikkonen, P., Rusko, H., & Martinmäki, K. (2008). Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(4), 511–519. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00728.x>
- Karmakar, C. K., Gubbi, J., Khandoker, A. H., & Palaniswami, M. (2010). Analyzing temporal variability of standard descriptors of Poincaré plots. *Journal of Electrocardiology*, 43(6), 719–724. <http://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2010.09.001>
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress / recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 95–102. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>
- Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2016). The within-participant correlation between perception of effort and heart rate-based estimations of training load in elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34(14), 1328–1332. <http://doi.org/10.1080/02640414.2016.1142669>
- Kiely, J. (2015). Periodization paradigms in the 21st century : evidence-led or tradition-driven? *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 7(3), 242–250.
- Kiviniemi, A., Hautala, A., Kinnunen, H., Nissila, J., Virtanen, P., Karjalainen, L., &

- Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1355–1363. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cd5f39>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Mäkikallio, T., Seppänen, T., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2010). Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R-R interval. *European Journal of Applied Physiology*, 96(6), 686–692. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0130-4>
- Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P., Hautala, A. J., Vanninen, E., & Uusitalo, A. L. T. (2013). Altered relationship between R-R interval and R-R interval variability in endurance athletes with overtraining syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), 77–85. <http://doi.org/10.1111/sms.12114>
- Klusemann, M. J., Pyne, D. B., Hopkins, W. G., & Drinkwater, E. J. (2013). Activity profiles and demands of seasonal and tournament basketball competition. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 8(6), 623–629.
- Kok, L.-Y., Hamer, P., & Bishop, D. (2009). Enhancing muscular qualities in untrained women: linear versus undulating periodization. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(9), 1797–1807. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a154f3>
- Kreher, J. B., & Schwartz, J. B. (2012). Overtraining Syndrome : A Practical Guide. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 4(2), 128–138. <http://doi.org/10.1177/1941738111434406>
- Lago, C., Casáis, L., Domínguez, E., Acero, R., & Seirul-lo, F. (2010). La influencia de la localización del partido , el nivel del oponente y el marcador en la posesión del balón en el fútbol de alto nivel. *Apuntes de Educación Física Y Deportes*, 102(4), 78–86.
- Lambert, M. I., & Borresen, J. (2010). Measuring Training Load in Sports, 406–411.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance : high-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 1–10. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., ... Hausswirth, C. (2013). Evidence of Parasympathetic Hyperactivity in Functionally Overreached Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2061–2071. <http://doi.org/10.1097/MSS.0b013e3182980125>
- Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 872–878. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000064999.82036.B4>
- Lyakh, V., & Litkowycz, R. (2014). Review of Platonov's "Sports Training Periodization. General Theory and its Practical Application" – Kiev : Olympic Literature , 2013. *Journal of Human Kinetics*, 44(1), 259–263.
- Lyakh, V., & Litkowycz, R. (2015). Review of Platonov's "Sports Training Periodization. General Theory and its Practical Application" – Kiev : Olympic Literature , 2013 (part two). *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 273–278. <http://doi.org/10.1515/hukin-2015-0055>
- Macleod, H., Morris, J., Nevill, A., Sunderland, C., Macleod, H., Morris, J., ... Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports*

Referencias

- Sciences*, 27(2), 121–128. <http://doi.org/10.1080/02640410802422181>
- Macutkiewicz, D., & Sunderland, C. (2011). The use of GPS to evaluate activity profiles of elite women hockey players during match play. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 967–973. <http://doi.org/10.1080/02640414.2011.570774>. Publishers
- Maekawa, F., Minehira, K., Kadomatsu, K., & Pellerin, L. (2008). Basal and stimulated lactate fluxes in primary cultures of astrocytes are differentially controlled by distinct proteins. *Journal of Neurochemistry*, 107(3), 789–798. <http://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2008.05650.x>
- Makivic, B., Djordjevic, M., & Willis, M. S. (2013). Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology*, 16(3), 103–131.
- Malone, S., & Collins, K. (2016). Relationship between individualised training impulse and aerobic fitness measures in Hurling players across a training period. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001386>
- Manzi, V., Bovenzi, A., Impellizzeri, M. F., Carminati, I., & Castagna, C. (2013). Individual Training-Load and Aerobic-Fitness Variables in Premiership Soccer Players During the Precompetitive Season. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 27(3), 631–636.
- Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., ... Iellamo, F. (2009). Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 296(6), H1733–H1740. <http://doi.org/10.1152/ajpheart.00054.2009>.
- Manzi, V., D'Ottavio, S., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Profile of Weekly Training Load in Elite Male Professional Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1399–1406. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d7552a>
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'Ottavio, S., & Castagna, C. (2015). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 41(11), 2090–2096. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a6a959>
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., Ottavio, S. D., & Castagna, C. (2009). Relation between Individualized Training Impulses and Performance in Distance Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 41(11), 2090–2096. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a6a959>
- Marcinek, D. J., Kushmerick, M. J., & Conley, K. E. (2010). Lactic acidosis in vivo: testing the link between lactate generation and H⁺ accumulation in ischemic mouse muscle. *Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1479–1486. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.01189.2009>
- Martinmäki, K., & Rusko, H. (2008). Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 353–360. <http://doi.org/10.1007/s00421-007-0594-5>
- Matos, N. F., Winsley, R. J., & Williams, C. A. (2011). Prevalence of Nonfunctional

- Overreaching/Overtraining in Young English Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1287–1294.
<http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318207f87b>
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1–24.
- Meeusen, R., Nederhof, E., Buyse, L., Roelands, B., Schutter, G. De, & Piacentini, M. F. (2010). Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *British Journal of Sports Medicine*, 44(9), 642–648.
<http://doi.org/10.1136/bjsm.2008.049981>
- Meur, Y. Le, Hausswirth, C., Natta, F., Couturier, A., Bignet, F., & Vidal, P. P. (2013). A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 114(3), 411–420.
<http://doi.org/10.1152/jappphysiol.01254.2012>
- Michael, S., Jay, O., Halaki, M., Graham, K., & Davis, G. (2017). Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 697–706. <http://doi.org/10.1007/s00421-016-3327-9>
- Mohr, M., Krstrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D., & Bangsbo, J. (2008). Match Activities of Elite Women Soccer Players at Different Performance Levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 341–349.
- Monteiro, A., Aoki, M., Evangelista, A., Alveno, D., Monteiro, G., da Cruz Piçarro, I., & Ugrinowitsch, C. (2009). Nonlinear periodization maximizes strength gains in split resistance training routines. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1321–1326.
- Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Minahan, C. L. (2010). The Physical and Physiological Demands of Basketball Training and Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75–86.
- Morales, A. P., Sampaio-Jorge, F., Da Cruz Felipe, LuizRangel, L. F., de Oliveira Coleho, G. M., Leite, T. C., & Ribeiro, B. G. (2014). Heart Rate Variability Responses in Vertical Jump Performance of Basketball Players. *International Journal of Sports Sciences*, 4(2), 72–78.
<http://doi.org/10.5923/j.sports.20140402.06>
- Morton, R. H., Fitz-clark, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1171–1177.
- Mujika, I. (2013). The alphabet of sport science research starts with Q. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 465–466.
<http://doi.org/10.1123/ijsp.8.5.465>
- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 27–34. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318277fd21>
- Mujika, I., Rønnestad, B., & Martin, D. (2016). Effects of Increased Muscle Strength and Muscle Mass on Endurance-Cycling Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 283–289.

- <http://doi.org/10.1123/IJSPP.2015>
- Muñoz, I., Cejuela, R., Seiler, S., Larumbe, E., & Esteve-lanao, J. (2014). Training-Intensity Distribution During an Ironman Season: Relationship With Competition Performance. *International Journal Sports Physiology and Performance*, 9(2), 332–339. <http://doi.org/10.1123/IJSPP.2012-0352>
- Naranjo, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., & Domínguez-Cobo, S. (2015). Heart Rate Variability: a Follow-up in Elite Soccer Players Throughout the Season. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11). <http://doi.org/10.1055/s-0035-1550047>
- Naranjo, J., de la Cruz, B., Sarabia, E., de Hoyo, M., & Dominguez, S. (2015). Two New Indexes for the Assessment of Autonomic Balance in Elite Soccer Players. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 10(4), 452–457.
- Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N., & Chen, B. (2008). Physiological demands of competitive basketball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(3), 425–432. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00789.x>
- Nederhof, E., Zwerver, J., Brink, M., Meeusen, R., & Lemmink, K. A. P. M. (2008). Different Diagnostic Tools in Nonfunctional Overreaching. *International Journal of Sports Medicine*, 29(7), 590–597. <http://doi.org/10.1055/s-2007-989264>
- Nemet, D., Meckel, Y., Bar-Sela, S., Zaldivar, F., Cooper, D. M., & Eliakim, A. (2009). Effect of local cold-pack application on systemic anabolic and inflammatory response to sprint-interval training: a prospective comparative trial. *European Journal of Applied Physiology*, 107(4), 411–417.
- Norton, K., Norton, L., & Sadgrove, D. (2010). Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 496–502. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.008>
- Nunes, J., Moreira, A., Crewther, B., Nosaka, K., Viveiros, L., & Aoki, M. (2014). Monitoring Training Load, Recovery-Stress State, Immune-Endocrine Responses, and Physical Performance in Elite Female Basketball Players During a Periodized Training Program. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2973–2980.
- Oliveira, R. S., Leicht, A. S., Bishop, D., Nakamura, F. Y., Londrina, U. E. De, Science, E., ... Londrina, U. E. De. (2013). Seasonal Changes in Physical Performance and Heart Rate Variability in High Level Futsal Players. *International Journal of Sports Medicine*, 34(5), 424–430. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1323720> Published online: 2012
- Owen, A., Wong, D., McKenna, M., & Dellal, A. (2011). Heart Rate Responses and Technical Comparison Between Small- vs Large-Sided Games in Elite Professional Soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8), 2104–2110.
- Padilla, S., Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F., & Goiriena, J. J. (2008). Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 431–438. <http://doi.org/10.1007/s00421-007-0602-9>
- Painter, K., & McBride, J. (2012). Strength Gains: Block Versus Daily Undulating Periodization Weight Training Among Track and Field Athletes, 7, 161–169.

- Perandini, L. A., Siqueira-Pereira, T. A., Okuno, N. M., Soares-caldeira, L. F., & Nakamura, F. Y. (2012). Use of session RPE to training load quantification and training intensity distribution in taekwondo athletes. *Science et Sports*, 27(4), e25–e30. <http://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.07.001>
- Pereira, L. A., Flatt, A. A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., & Nakamura, F. Y. (2016). Assessing Shortened Field-Based Heart Rate Variability Data Acquisition in Team-Sport Athletes. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 11(2), 154–158. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0038>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2016). Day-to-day Heart Rate Variability (HRV) Recordings in World Champion Rowers : Appreciating Unique Athlete Characteristics. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 0(0), 1–19. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0343>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: a methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 688–91.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes : Opening the Door to Effective Monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Plews, D. J., Laursen, P., Kilding, A., & Buchheit, M. (2014). Heart-Rate Variability and Training-Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026 – 1032. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0497>
- Plews, D., Laursen, P., Kilding, A., & Buchheit, M. (2014). Heart Rate Variability and Training Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0497>
- Prestes, J., Frollini, A., De Lima, C., Donatto, F., Foschini, D., de Cássia Marqueti, R., ... Fleck, S. (2009). Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2437–2442. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c03548>
- Rampinini, E., Alberti, G., Fiorenza, M., Riggio, M., Sassi, R., Borges, T. O., & Coutts, A. J. (2015). Accuracy of GPS Devices for Measuring High- intensity Running in Field-based Team Sports. *International Journal of Sports Medicine*, 36(1), 49–53. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1385866>
- Reverter, J., Jové, C., Fonseca, T., & Navarro, E. (2012). Análisis de la planificación del entrenamiento en los deportes de equipo. *Movimiento Humano*, 3(1), 79–98.
- Robergs, R., Ghasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), R502–R516. <http://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, G., García-Lopez, J., & Foster, C. (2012). Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2249–2257. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a4233>
- Roos, L., Taube, W., Brandt, M., Heyer, L., & Wyss, T. (2013). Monitoring of Daily Training Load and Training Load Responses in Endurance Sports : What Do

- Coaches Want ? *Schweizerische Zeitschrift Für Sportmedizin Und Sporttraumatologi*, 61(4), 30–36.
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G. P., Pialoux, V., & Hautier, C. (2015). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European Journal of Sport Science*, 16(2), 172–181.
<http://doi.org/10.1080/17461391.2015.1004373>
- Saboul, D., Pialoux, V., & Hautier, C. (2013). The impact of breathing on HRV measurements : Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 534–542.
<http://doi.org/10.1080/17461391.2013.767947>
- Sanders, D., Abt, G., Hesselink, M., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Methods of Monitoring Training Load and Their Relationships to Changes in Fitness and Performance in Competitive Road Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 668–675.
<http://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0454>
- Sanders, D., Heijboer, M., Hesselink, M., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or load ratios? *Journal of Sports Sciences*, 0(0), 1–7. <http://doi.org/10.1080/02640414.2017.1388669>
- Sanders, D., Myers, T., & Akubat, I. (2017). Training Intensity Distribution in Road Cyclists: Objective Versus Subjective Measures. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1232–1237.
<http://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0523>
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2015). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 281–291. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Scanlan, A., Dascombe, B., & Reaburn, P. (2011). A comparison of the activity demands of elite and sub-elite Australian men ' s basketball competition . *J Sport Sci. Journal of Sports Sciences*, 29(11), 1153–1160.
<http://doi.org/10.1080/02640414.2011.582509>
- Scanlan, A., Tucker, P., Dascombe, B., Berkemans, D., Hiskens, M., & Dalbo, V. (2015). Fluctuations on activity demands across game quarters in professional and semi-professional mens basketball. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3006–3015. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000967>
- Scanlan, A., Wen, N., Tucker, P., & Dalbo, V. (2014). The relationship between internal and external training load models during basketball training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2397–2405.
- Schumann, M., Botella, J., Karavirta, L., & Häkkinen, K. (2016). Training Load-Guided Versus Standardized Endurance Training in Recreational Runners. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 12(3), 295–303.
<http://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0093>
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & Janse De Jonge, X. A. K. (2013). A Comparison of Methods to Quantify the In-Season Training Load of Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195–202.
- Scott, T., Black, C., Quinn, J., & Coutts, A. (2012). Validity and Reliability of the

- Session-RPE Method for Quantifying Training in Australian Football: A Comparison of the CR10 and CR100 Scales. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1), 270–276. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182541d2e>
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49–56. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, S. (2010). What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x>;
- Olaf Schumacher, Y., Mueller, P., The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects (2002) *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (6), pp. 1029-1036; Lindsay, F.H., Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training (1996) *Med Sci Sports Exerc*, 28, pp. 1427-1434; Stepto, N.K., Hawley, J.A., Dennis, S.C., Effects of different interval-training programs on cycling tim
- Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366–73. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>
- Seirul-lo, F. (1987). Opción de planificación en los deportes de largo periodo de competiciones. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 1(3), 53–62.
- Seirul-lo, F. (2012). Competencias: Desde la Educación Física al Alto Rendimiento. *Revista de Educación Física*, 4(128), 5–8.
- Selye, H. (1956). *The stress of life* (4th ed.). New York: Mc Graw-Hill.
- Slivka, D., Hailes, W., Cuddy, J., & Ruby, B. (2015). Effects of 21 Days of Intensified Training on Markers of Overtraining. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2604–2612. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e8a4eb>
- Stagno, K., Thatcher, R., & Van Someren, K. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629–634. <http://doi.org/10.1080/02640410600811817>
- Stanley, J., Peake, J. M., & Buchheit, M. (2013). Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise : Implications for Training Prescription. *Sports Med* (2013), 43, 1259–1277. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>
- Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in Physiology*, 5, 33–42. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00033>
- Stöggl, T., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6, 295–304. <http://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
- Suarez-Arrones, L., Portillo, J., González-Ravé, J., Muñoz, V., & Sánchez, F. (2012). Match running performance in Spanish elite male rugby union using global positioning system. *Isokinetics and Exercise Science*, 20(2), 77–83. <http://doi.org/10.3233/IES-2012-0444>
- Tanaka, H. (1986). Predicting running velocity at blood lactate threshold from running performance tests in adolescent boys. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(4), 344–348.

Referencias

- <http://doi.org/10.1007/BF00422731>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [http://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](http://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart Rate Variability Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Taylor, P., García-ramos, A., Feriche, B., Calderón, C., Iglesias, X., Barrero, A., ... Rodríguez, F. A. (2015). Training load quantification in elite swimmers using a modified version of the training impulse method, (January), 37–41. <http://doi.org/10.1080/17461391.2014.922621>
- Taylor, R., Sanders, D., Myers, T., Abt, G., Taylor, C., & Akubat, I. (2017). The Dose-Response Relationship Between Training Load and Aerobic Fitness in Academy Rugby Union Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 0(0), 1–7. <http://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0121>
- Thorpe, R. T., Strudwick, A., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 958–964.
- Tian, Y., He, Z., Zhao, J., & Tao, D. (2015). An 8-Year Longitudinal Study of Overreaching in 114 Elite Female Chinese Wrestlers. *Journal of Athletic Training*, 50(2), 217–223. <http://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.57>
- Tiidus, P., & Tupling, A. (2012). *Biochemistry primer for exercise science*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Turner, A. (2011). The Science and Practice of Periodization : A Brief Review. *Strength & Conditioning Journal*, 33(1), 34–46.
- Van Hall, G. (2010). Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiologica*, 199(4), 499–508. <http://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02122.x>
- Varley, M., Fairweather, I., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121–127.
- Venter, R., Opperman, E., & Opperman, S. (2011). The use of Global Positioning System (GPS) tracking devices to assess movement demands and impacts in Under-19 Rugby Union match play. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*, 17(11), 1–8.
- Vescovi, J. D. (2016). Locomotor , Heart-Rate , and Metabolic Power Characteristics of Youth Women Æ™ s Field Hockey: Female Athletes in Motion (FAiM) Study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 87(1), 68–77. <http://doi.org/10.1080/02701367.2015.1124972>
- Vinson, D., Padley, S., Croad, A., Jeffreys, M., Brady, A., Vinson, D., ... Brady, A. (2013). Penalty corner routines in elite women Æ™ s indoor field hockey : Prediction of outcomes based on tactical decisions. *Journal of Sports Sciences*, 31(8), 887–893. <http://doi.org/10.1080/02640414.2012.757341>
- Vinson, D., & Peters, D. M. (2016). Position-specific performance indicators that

- discriminate between successful and unsuccessful teams in elite women ' s indoor field hockey : implications for coaching implications for coaching. *Journal of Sports Sciences*, 34(4), 311–320.
<http://doi.org/10.1080/02640414.2015.1055292>
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1).
<http://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Weaving, D., Jones, B., Till, K., Marshall, P., Earle, K., & Abt, G. (2017). Quantifying The External And Internal Loads Of Professional Rugby League Training Modes: Consideration for Concurrent Field-Based Training Prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1–23.
<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002242>
- Winsley, R. (2011). Overtraining and Elite Young Athletes. *Medicine and Sport Science*, 56, 97–105. <http://doi.org/10.1159/000320636>

Anexos



Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Organización Deportiva

Protocolo de Investigación

"Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

Investigador principal: Tesista de doctorado Roberto Andrés González Fimbres. Coordinador del Estudio: Dr. Germán Hernández Cruz.

FORMULARIO DE INFORMACIÓN PARA ATLETAS ESTATALES Y ENTRENADORES.

TÍTULO DEL ESTUDIO: "Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

VERSIÓN DEL ESTUDIO: Versión 1.0, fecha 15 de septiembre de 2017

VERSIÓN DEL DOCUMENTO: Versión 3.0, fecha 15 de septiembre de 2017

CENTRO (SITIO DE INVESTIGACIÓN):

COMISIÓN DEL DEPORTE DEL ESTADO DE SONORA. Blvr. Solidaridad 404 Col. Álvaro Obregón, Hermosillo, Sonora. Tels: 260-18-50, 260-20-97 y 260-64-42.

INVESTIGADOR PRINCIPAL: Roberto Andrés González Fimbres.

Dirección de la Licenciatura en Entrenamiento Deportivo de la Universidad Estatal de Sonora., Ley Federal del Trabajo S/N, Hermosillo, Son., C.P. 83100.
Telefax: (662)6890100.

Celular: 6622339060, correo electrónico: roberto.gonzalez@ues.mx

Comité de Ética: Comité de ética en Investigación del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud, CIDICS, UANL.

Contacto: Presidente Dr. Eloy Cárdenas Estrada

Telefax: +52(81) 1340-4370 ext. 1743. Celular: 044-81-8020-7585, 24 horas.

Correo electrónico: eloy.cardenas@uanl.edu.mx

Nombre del Participante (Deportista):

Fecha de nacimiento: ____/____/____/ Sexo: Masculino ____/ Femenino ____
Día Mes Año

Fecha ____/____/____/ Iniciales ____/____/ **1/7**

Facultad de Organización Deportiva, UANL / Campus Ciudad Universitaria, C.P. 66451,
San Nicolás de los Garza, N.L. México

Investigador Principal: tesista de Doctorado Roberto Andrés González Fimbres
Telefax: + 52(662)216-87-27 en Hermosillo, Sonora roberto.gonzalez@ues.mx



Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Organización Deportiva

Protocolo de Investigación

"Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

Investigador principal: Tesista de doctorado Roberto Andrés González Fimbres. Coordinador del Estudio: Dr. Germán Hernández Cruz.

Nombre del entrenador:

Fecha de nacimiento: ____ / ____ / ____ / Sexo: Masculino ____ / Femenino ____
Día Mes Año

Se le extiende una invitación a participar en el proyecto de investigación titulado "Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey" el cual realiza la Facultad de Organización Deportiva de la UANL en las instalaciones de la Comisión del Deporte del Estado de Sonora.

El proyecto tiene como objetivo analizar la carga interna basada en FC con relación a la carga externa durante el periodo de preparación de equipos representativos del estado de Sonora.

Establecer la relación entre estas variables puede crear una herramienta no invasiva, aplicable en campo y de menor costo para monitorear la respuesta fisiológica a la carga externa en los entrenamientos, asegurar las adaptaciones de mejora del rendimiento y prevenir el sobre-entrenamiento.

La participación de los deportistas consiste en colaborar en las mediciones y encuestas necesarias para determinar la respuesta interna a la carga externa.

Todos los procedimientos se apegan a la declaración del Helsinki.

1. Descripción de Variables a medir:

Para el desarrollo de este estudio sólo se lleva a cabo una sola prueba con carácter invasivo, ya que se debe de extraer sangre capilar para determinar el perfil de lactato de los deportistas con la finalidad de identificar el umbral anaeróbico y poder cuantificar las cargas de entrenamiento. Este procedimiento se considera estándar el medio del entrenamiento deportivo de alto rendimiento. Durante la prueba se toman las precauciones necesarias para evitar riesgos innecesarios de contagio y de lesión deportiva.

El resto de los métodos de levantamiento de datos del estudio son de carácter no invasivo.

Fecha ____ / ____ / ____ Iniciales ____ / ____ / 2/7

Facultad de Organización Deportiva, UANL / Campus Ciudad Universitaria, C.P. 66451,
San Nicolás de los Garza, N.L. México

Investigador Principal: tesista de Doctorado Roberto Andrés González Fimbres
Telefax: + 52(662)216-87-27 en Hermosillo, Sonora roberto.gonzalez@ues.mx



Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Organización Deportiva

Protocolo de Investigación

"Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

Investigador principal: Tesista de doctorado Roberto Andrés González Fimbres. Coordinador del Estudio: Dr. Germán Hernández Cruz.

- 1.1. **Carga externa.** Representa la actividad total de los jugadores durante el entrenamiento y se calcula por medio de acelerometría. El instrumento a utilizar es el acelerómetro triaxial Actigraph (Pensacola, Florida, EU). El valor de carga externa es la resultante en unidades g de la sumatoria de los vectores de los ejes transversal, medio-lateral y antero-posterior del acelerómetro multiplicado por el tiempo de duración de la sesión de entrenamiento.
- 1.2. **Carga interna.** Representa el efecto fisiológico de la carga externa en el organismo de los jugadores. Para su valoración y comparación se utilizarán tres diferentes métodos basados en FC conocidos como Estímulo de Entrenamiento (TRIMP). El instrumento a utilizar para la recolección de datos es el sistema Polar Team2 (Polar electro Oy, Kempele, Finlandia) por medio de transmisores que registran y almacenan los valores de frecuencia cardíaca.
- 1.3. **Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.** Es la cuantificación de la variación de los tiempos entre intervalos R-R. La recolección de los tiempos de los intervalos R-R se hace con monitores Polar H7 (Polar electro Oy, Kempele, Finlandia) por medio de una aplicación de teléfono inteligente.

2. Participación

La participación de los deportistas en ésta investigación es de carácter voluntario y sin remuneración. Tendrá completa libertad de negarse a participar y/o de retirarse de la investigación en cualquier momento sin sanción o pérdida de los beneficios a que tendría derecho antes de haber iniciado esta investigación.

Al finalizar la investigación usted se entregará un informe de manera individual al atleta así como el resultado de manera grupal al entrenador.

Toda información que se suministre para los registros es totalmente confidencial.

Esta es una investigación financiada en colaboración con recursos institucionales (UANL y UES).

3. Enfermedades o lesiones

Aun cuando no se espera que usted sufra problema alguno de Enfermedad o Lesión al formar parte de este estudio, se puede otorgar una atención médica a cualquier persona que se vea afectada en su salud, como resultado de su participación en este estudio.

Fecha Día / Mes / Año Iniciales / / **3/7**

Facultad de Organización Deportiva, UANL / Campus Ciudad Universitaria, C.P. 66451,

San Nicolás de los Garza, N.L. México

Investigador Principal: tesista de Doctorado Roberto Andrés González Fimbres

Telefax: + 52(662)216-87-27 en Hermosillo, Sonora roberto.gonzalez@ues.mx



Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Organización Deportiva

Protocolo de Investigación

"Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

Investigador principal: Tesista de doctorado Roberto Andrés González Fimbres. Coordinador del Estudio: Dr. Germán Hernández Cruz.

Usted no tiene que probar que fue la culpa de alguien. Si tuviera una Enfermedad o Lesión y se presentara como resultado directo de formar parte en este Estudio se le proporcionará tratamiento médico que se coordinará a través del Investigador Principal.

Este tratamiento médico estará disponible sin costo para Usted. También puede Usted comunicarse con el comité de Bioética en Ciencias de la Salud, COBICIS, UANL, a través del Dr. med Eloy Cárdenas Estrada. Usted puede llamar dentro de las 24 horas del día.

Para que esta política aplique, Usted deberán seguir todas las instrucciones y consejos del personal encargado de aplicar las mediciones y no hacer nada que cause o contribuya a una lesión. Usted no renuncia a ninguno de sus derechos legales al firmar esta forma.

4. Confidencialidad / Aviso de Privacidad

De acuerdo a la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares, los registros obtenidos mientras usted está en este estudio, como los llamados datos personales y datos sensibles, así como los registros de variables de estudio y de salud relacionados, permanecerán con carácter estrictamente confidencial en todo momento.

Su uso será exclusivo para el propósito de esta investigación.

No se realizará transferencia de sus datos personales o sensibles a terceros. Queda excluido todo uso de sus datos recabados, con fines comerciales o de mercadotecnia.

Al firmar la forma de consentimiento usted acuerda proporcionar el acceso a sus datos para el estudio actual. Se tomarán las precauciones necesarias para proteger su información personal y no se incluirá su nombre en ningún formato del patrocinador, reportes, publicaciones o en alguna revelación futura.

Si usted se retira del estudio, el Investigador Principal ya no compilará más su información personal, pero se podrán procesar los datos obtenidos.

Usted tiene derecho al acceso, rectificación, cancelación u oposición a la divulgación de sus datos. Para ejercer este derecho Ud. deberá contactar al Investigador Principal o al Comité de Bioética quienes le comunicarán los procedimientos, requisitos y plazos, así como, en su momento, por vía telefónica, de cualquier cambio en este Aviso de Privacidad

Fecha Día / Mes / Año Iniciales / / **4/7**

Facultad de Organización Deportiva, UANL / Campus Ciudad Universitaria, C.P. 66451,

San Nicolás de los Garza, N.L. México

Investigador Principal: tesista de Doctorado Roberto Andrés González Fimbres

Telefax: + 52(662)216-87-27 en Hermosillo, Sonora roberto.gonzalez@ues.mx



Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Organización Deportiva

Protocolo de Investigación

"Relación de la VFC post-ejercicio con la carga interna y externa en entrenamiento de hockey"

Investigador principal: Tesista de doctorado Roberto Andrés González Fimbres. Coordinador del Estudio: Dr. Germán Hernández Cruz.

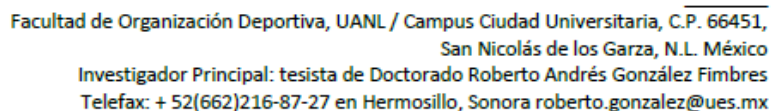
Contactos: Investigador Principal, Director de FOD, UANL, Comité de Bioética.

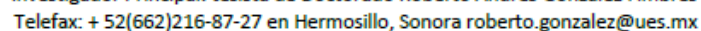
El Investigador Principal, esto es, quien dirige y es el responsable de este estudio es el Mtro. Roberto Andrés González Fimbres, quien se localiza en la Dirección de la Licenciatura en Entrenamiento Deportivo de la Universidad Estatal de Sonora., Ley Federal del Trabajo S/N, Hermosillo, Son., C.P. 83100. Teléfono: (662)6890100.

Para cualquier pregunta sobre sus derechos humanos, de dignidad o de confidencialidad como persona que participa en un estudio de investigación, Usted puede dirigirse con: Dr. Med Eloy Cárdenas Estrada, Presidente de Comité de Bioética en Ciencias de la Salud, COBICIS, UANL, con dirección: Av. Gonzalitos s/n y Dr. Carlos Canseco, Colonia Mitras Centro, C.P. 64460, Monterrey, N.L. Teléfono 24 horas: 1340-4370, teléfono celular 24 horas 81-8020-7585. correo electrónico: eloy.cardenases@uanl.edu.mx.

Fecha Día / Mes / Año Iniciales / / **5/7**

Facultad de Organización Deportiva, UANL / Campus Ciudad Universitaria, C.P. 66451,
San Nicolás de los Garza, N.L. México
Investigador Principal: tesista de Doctorado Roberto Andrés González Fimbres
Telefax: + 52(662)216-87-27 en Hermosillo, Sonora roberto.gonzalez@ues.mx







UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ☐ CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS DE LA SALUD CIDCS

**Dictamen del Comité de Bioética, COBICIS
Resolución del Comité de Ética / Bioética**

**Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero
Investigador Principal**

**Protocolo:
"Métodos de Frecuencia Cardíaca para Cuantificar Carga
Interna de Entrenamiento en Selecciones Estatales"**

COBICIS-A-2.0-2010
Versión 03.2 (3-abril-2014)
Vigencia a partir de 3-abril-2014

COBICIS
Comité de Bioética en
Investigación en
Ciencias de la Salud
CONBIOETICA 1 CEI 01920131218
COFEPRIS 103300538X0322

2017

COBICIS
Comité de Ética en
Investigación
Servicios Médicos UANL
CONBIOETICA
19-CEI-001-20170207



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ☐ CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS DE LA SALUD CIOCS

Monterrey, N.L. a 22 de diciembre de 2017

Oficio 027-2017-01

Asunto: Resolución COBICIS

Hoja 1 / 2

RESOLUCIÓN DEL COMITÉ DE ÉTICA / BIOÉTICA**Dra Blanca Rocío Rangel Colmenero****Investigador Principal****Presente.-****REFERENCIA:****"Métodos de Frecuencia Cardíaca para Cuantificar Carga Interna de Entrenamiento en Selecciones Estatales"**

Protocolo FOD-2-2017. Versión 1.0 Fecha 15-sep-2017. Modalidad: "A", "C"; Grupo de la Investigación: "I", "Otro".

Sitios: 1) Facultad de Organización Deportiva, UANL. 2) Comisión del Deporte del Estado de Sonora

Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud, COBICIS, Folio CONBIOÉTICA: 19-CEI-01920131218.

Dictamen Favorable Folio: COBICIS-58/12/2017/02-FOD-BRRC. Investigador Principal: Dra. Blanca Rocío Rangel

Colmenero. Patrocinadores: UANL; Estado de Sonora

Correo-e Telefax: blanca.rangelc@uanl.mx + 52(81)1340-4450 ext. 7604.

En cumplimiento a las Buenas Prácticas Clínicas, le informamos:

El Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud de la UANL, ha evaluado el siguiente documento por Usted sometido:

Protocolo de investigación "Métodos de Frecuencia Cardíaca para Cuantificar Carga Interna de Entrenamiento en Selecciones Estatales". Versión Español: 1, Versión 1.0, fecha 15 de septiembre de 2017

Consentimiento Informado. Versión Español 3: fecha 15 de septiembre de 2017

Resolución:

Aprobado. Dictamen Favorable. Folio: COBICIS-58/12/2017/02-FOD-BRRC

Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud

COBICIS

CONBIOÉTICA 19CEI01920131218 18-Dic-2013

COFEPRIS 103300538X0322 11-Oct-2010

IORG0008882 FWA00017677 IRB00008355

Campus de Ciencias de la Salud
Av. José E. González y Av. Dr. Carlos Carrasco (Mutualismo) s/n
Col. Milanes Centro Monterrey, Nuevo León, México C.P. 64450
Teléfono: +52 (81) 1340 4370 ext. 1755 y 1743



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIAS DE LA SALUD CIDCS
Oficio 027-2017-01

Asunto: Resolución COBICIS

Hoja 2 / 2

Esta resolución cumple con el apartado 3.1.2 de la Conferencia Internacional de Armonización (CIARM) sobre requerimientos técnicos para el registro de productos farmacéuticos para uso en humanos. Guía Tripartita armonizada de la Conferencia Internacional de Armonización. Lineamientos para la Buena Práctica Clínica (E6(R1)). Artículo 100 de la Ley General de Salud, México (20150604) Artículos 99, 100 y 109 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, México

Las revisiones a esta investigación, por parte de COBICIS, se llevarán a cabo en las instalaciones de Facultad de Organización Deportiva, UANL

Toda vez que el protocolo original, así como la carta de consentimiento informado sufran modificaciones, éstas deberán someterse para su re-aprobación.

Atentamente



Dr. med Eloy Cárdenas Estrada
Presidente del Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud

COBICIS
Comité de Ética en
Investigación
CIDCS- UANL
CONBIOÉTICA
PEI-001-20170207

Esta Resolución queda registrada ante el Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud con el Folio:

Aprobado. Dictamen Favorable. Folio: COBICIS-58/12/2017/02-FOD-BRRC

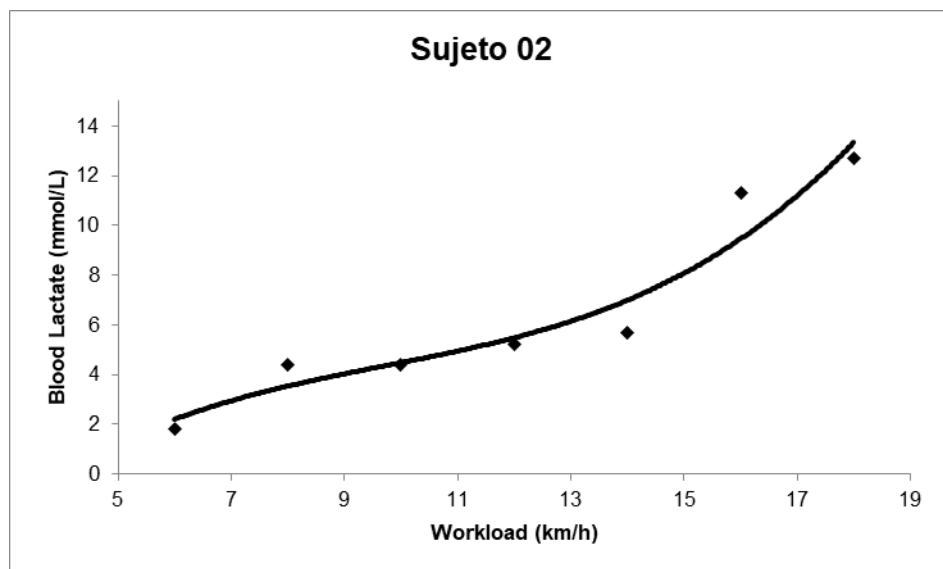
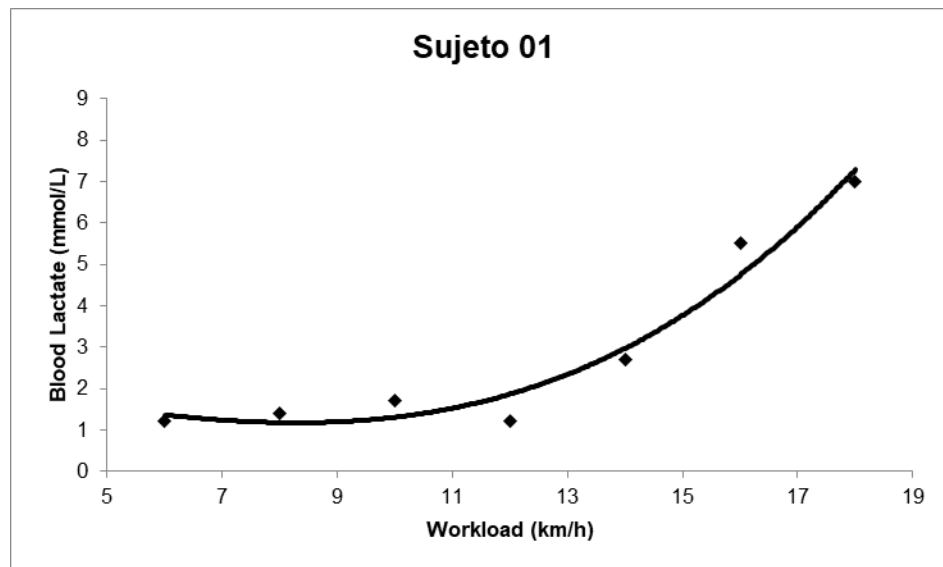
C.c.p. Archivo COBICIS
ECE/ggg

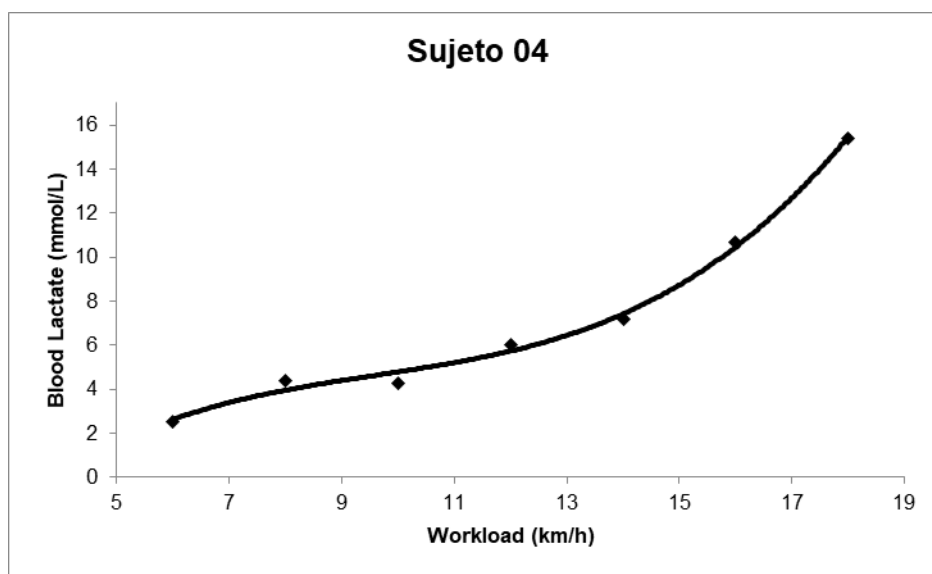
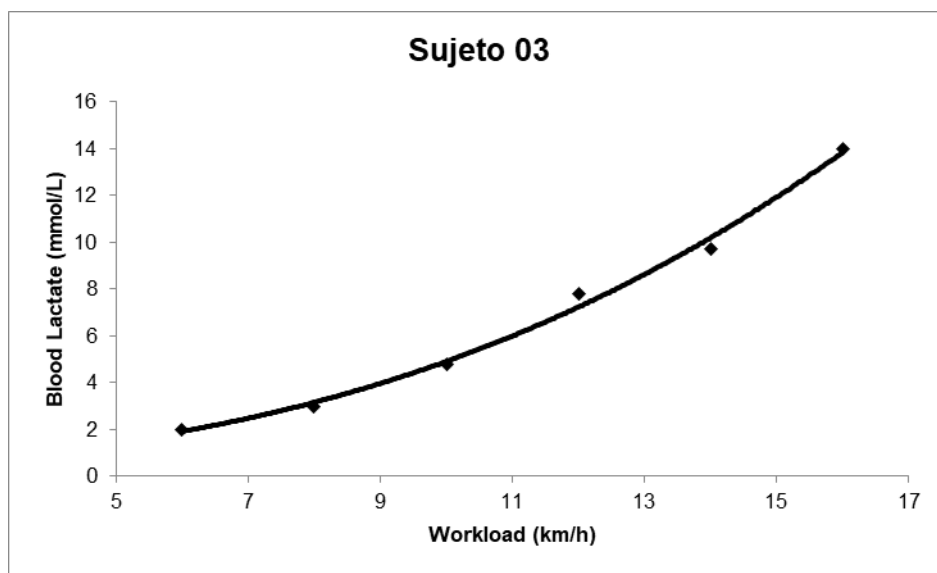


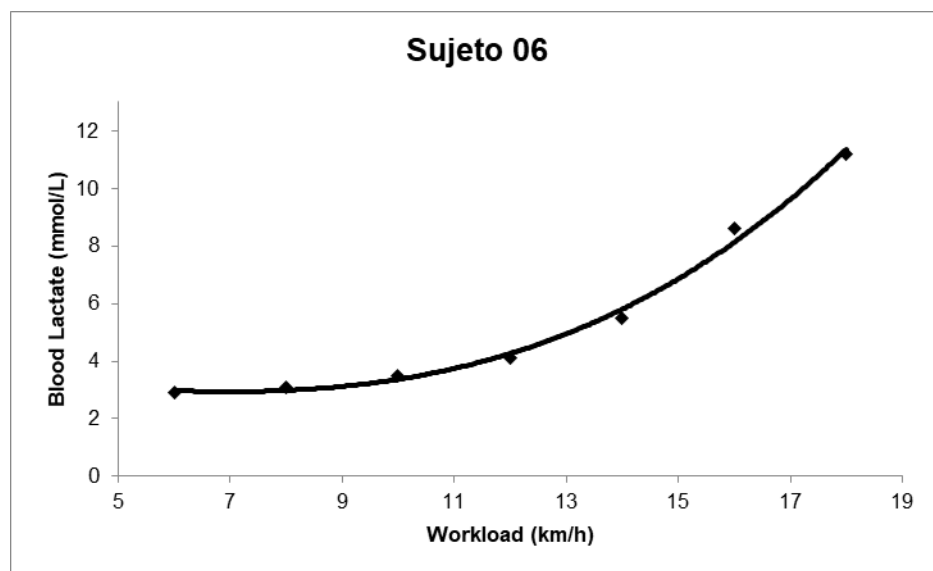
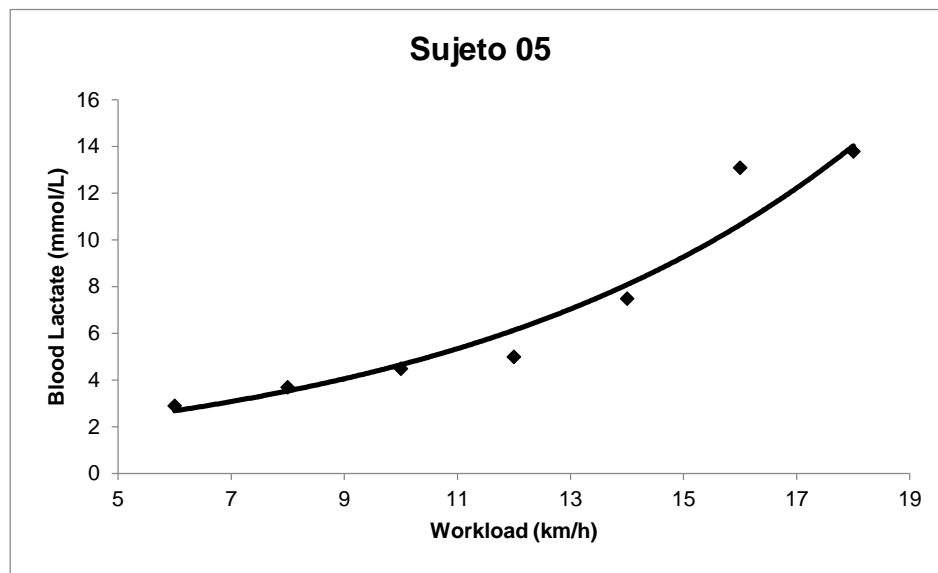
Comité de Bioética en Investigación en Ciencias de la Salud
COBICIS
CONBIOÉTICA 19CEI01920131218 18-Dic-2013
COFEPRIS 193300538X0322 11-Oct-2019
IORG0008982, FWAD0017577, IRB0008355

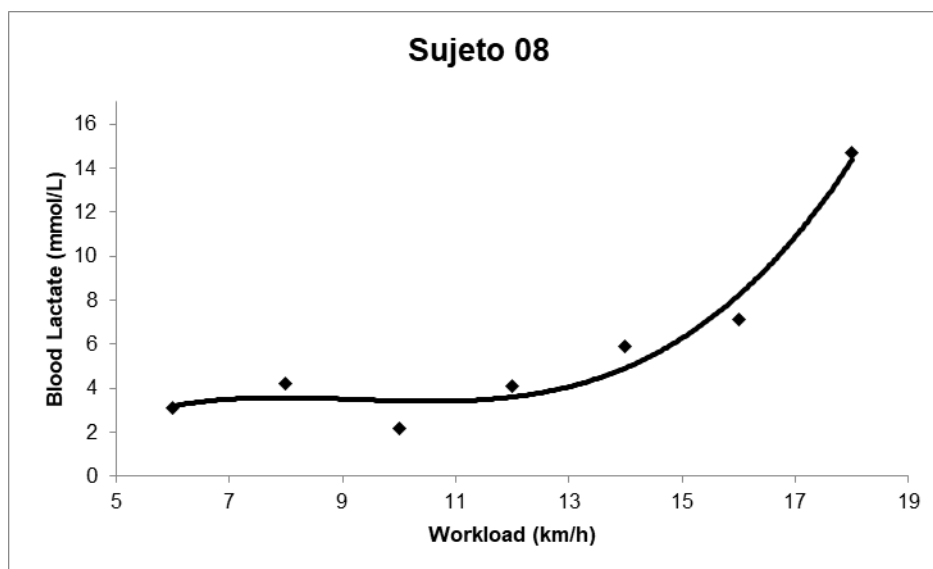
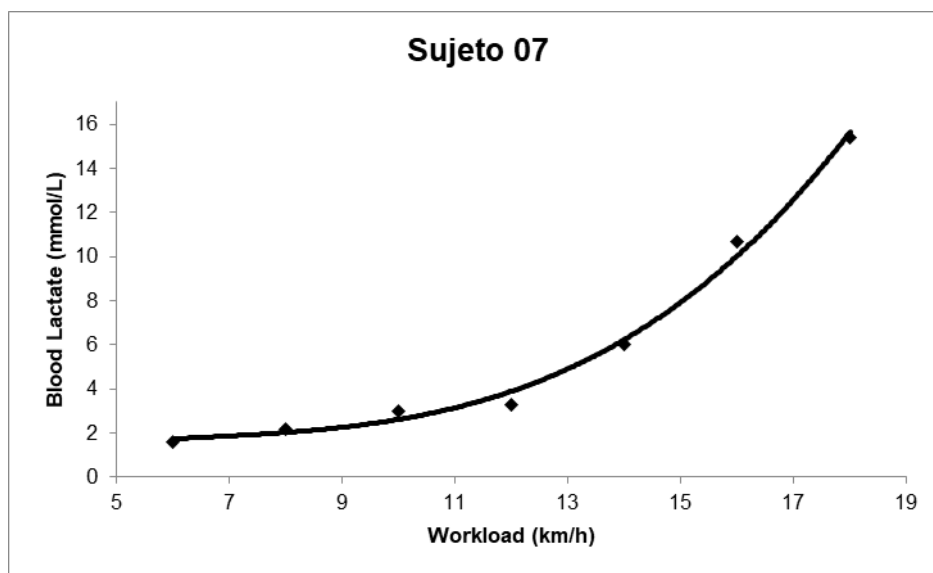
Ciudad de Ciencias de la Salud
Av. José E. González y Av. Dr. Carlos Cansero (Mutualismo) s/n
Col. Mitras Centro Monterrey, Nuevo León, México C.P. 64460
Teléfono: +52 (81) 1340 4370 ext. 1755 y 1743

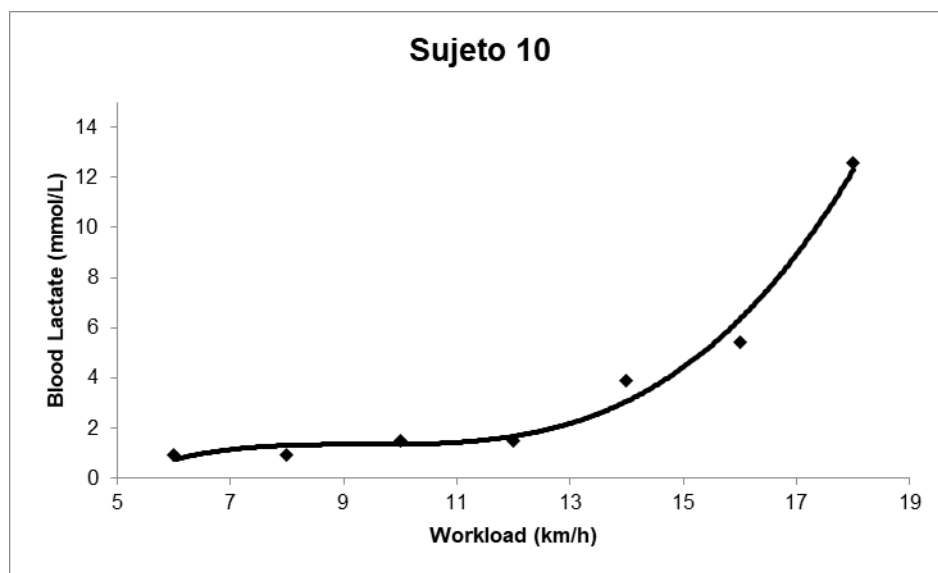
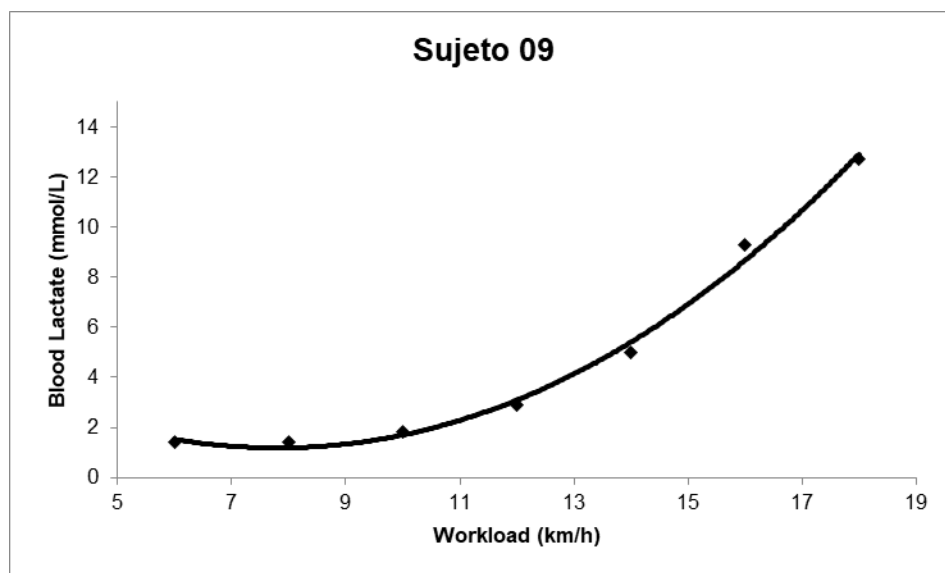
Gráficas de curva de lactato de los sujetos

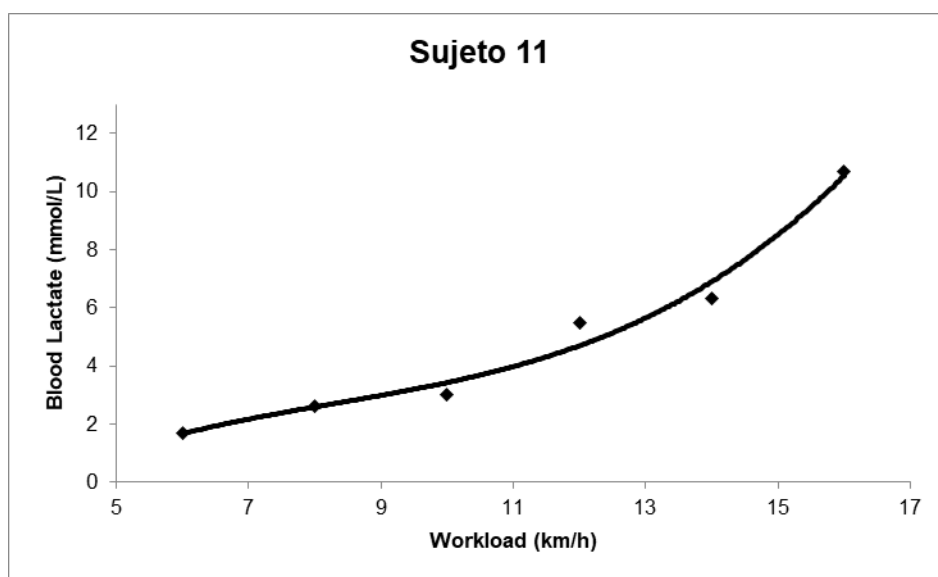










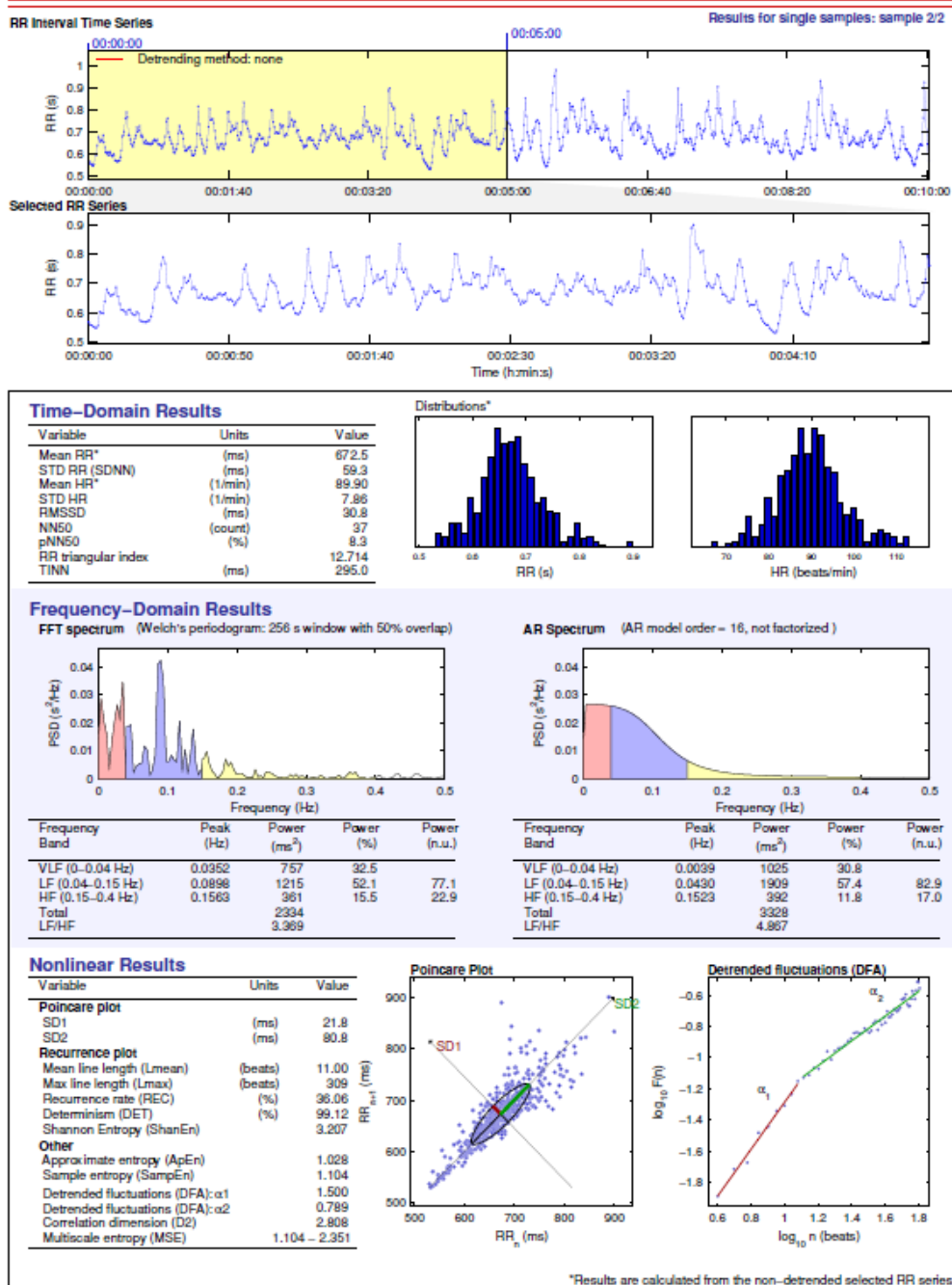


Análisis de VFC Post ejercicio 1/2

HRV Analysis Results

2017-04-04 18-13-49.txt - xxx/xxx - xxx/xxx

Page 2/2



Análisis de VFC post ejercicio 2/2

